

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів

№ 49 (1091) 2014

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2014

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 49 (1091). – 194 с.

Державне видання
Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).

Координаційна рада: Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (голова);
К.О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (секретар);
А.П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є.І. СОКОЛ, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;
Є.Є. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.; А.В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.;
Ф.Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф.; М.Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.;
А.І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В.Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.;
В.Д. ДМИТРИЄНКО, д-р техн. наук, проф.; І.Ф. ДОМНІН, д-р техн. наук, проф.;
В.В. ЄПІФАНОВ, канд. техн. наук, проф.; Ю.І. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, проф.;
П.О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.; В.Б. КЛЕПІКОВ, д-р техн. наук, проф.;
С.І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф.; В.М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук, проф.;
В.І. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Г.В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф.;
О.К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; В.І. НІКОЛАЄНКО, канд. іст. наук, проф.;
П.Г. ПЕРЕРВА, д-р екон. наук, проф.; В. А. ПУЛЯЄВ, д-р техн. наук, проф.;
М.І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В.Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.;
Г.М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф.; Ю.В. ТИМОФІЄВ, д-р техн. наук, проф.;
М.А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: Л.М. УЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: С.І. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф.

Члени редколегії: Ф.Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф.; О.В. ГОРЕЛИЙ, канд. техн. наук, проф.; О.В. ГРИГОРОВ, д-р техн. наук, проф.; А.Г. ГУРІН, д-р техн. наук, проф.; І.Ф. ДОМНІН, д-р техн. наук, проф.; О.В. ЄФІМОВ, д-р техн. наук, проф.; П.О. КАПУСТЕНКО, канд. техн. наук, проф.; С.І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф.; О.С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В.І. МІЛИХ, д-р техн. наук, проф.; М.І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В.Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.; М.А. ТКАЧУК, д-р техн. наук.

*У квітні 2013 р. Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ», серія «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів», включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ»
Протокол № 9 від 31. 10. 2014 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2014

А.А. НЕТРЕБА, асп. НТУ «ХПИ»;

Ф.Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;

Г.В. САДОВНИЧИЙ, генеральный директор ООО ИК «ПТ «Подсолнух», Харьков;

Т.Г. ШКАЛЯР, главный технолог ООО ИК «ПТ «Подсолнух», Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ВЫМОРАЖИВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

Исследована возможность использования электромагнитной обработки для извлечения воска и воскоподобных веществ из подсолнечного масла. Исследованы электрофизические характеристики суспензии восковых веществ в подсолнечном масле, а именно диэлектрическая проницаемость и электропроводность, а также их поведения при электромагнитных методах воздействия на систему «масло-сопутствующие вещества». Влияние электромагнитного поля на поведение сопутствующих веществ в технологическом процессе вымораживания оценивали по изменению электрофизических характеристик суспензии воска и воскоподобных веществ в подсолнечном масле, свидетельствующие о получении зарядов сопутствующими веществами. Именно это свойство лежит в основе совершенствования технологической стадии фильтрации суспензии с помощью волокнистых фильтрующих материалов на основе полисульфона, имеющих стабильный электрический заряд, поскольку улавливания частиц в глубинном фильтре происходит за счет электростатического взаимодействия. Показана интенсификация технологических процессов кристаллизации восковых соединений и фильтрации суспензии под действием электромагнитного поля.

Ключевые слова: подсолнечное масло, воскоподобные вещества, диэлектрическая проницаемость, электропроводность, поляризация, электромагнитное поле, волокнистые фильтрующие материалы на основе полисульфона.

Вступление. Физико-химические, электрофизические и электромагнитные характеристики растительных масел во многом определяют их технологические свойства. При извлечении воска и воскоподобных веществ из растительного масла наиболее перспективным направлением является использование электрического или электромагнитного полей. В связи с этим актуальным является исследование электрофизических и электромагнитных свойств масел и восковых веществ, а также их поведе-

ние при электромагнитных и других методах воздействия на систему масло-сопутствующие вещества. Одним из таких новых подходов, развивающихся с начала 60-х годов, является использование электрофизических методов воздействия на органические вещества и материалы. Природная сущность электромагнитного поля позволяет создать целый ряд электрофизических способов и методов, и технических устройств на их основе.

Постановка проблемы и методы ее решения. Традиционными путями решения проблемы усовершенствования процесса рафинации является применение новых конструкционных, технологических и технических решений, разработка новых типов оборудования и применение новых реагентов и т.п. Это требует больших капитальных вложений и значительного времени.

При этом значительного повышения эффективности производства и качества получаемых продуктов, в том числе и на действующих установках, можно добиться путем применения нетрадиционных способов воздействия на рафинируемое сырье. В этом плане все большее применение находят методы, реализуемые на основе различных физических принципов, а именно электрических и магнитных. Однако, существуют ряд недостатков: несовершенство существующих аппаратов, невозможность их повсеместного применения, относительная их сложность и высокая стоимость. Поэтому, перспективным направлением исследований является использование электромагнитных методов воздействия в технологии переработки растительных масел и жиров.

Необходимость применения электромагнитного поля при извлечении восковых веществ из подсолнечного масла. Технология удаления воска и воскоподобных веществ из подсолнечного масла – технология «вымораживания», характеризуется значительной длительностью процесса кристаллизации воска, низкой скоростью фильтрации, что связано с высокой вязкостью подсолнечного масла при низкотемпературной фильтрации, необходимостью использования вспомогательных материалов, трудностями очистки фильтрующей перегородки от «кека», большими энергозатратами, недостаточной степенью вывода воскоподобных веществ и образованием значительного количества маслосодер

жащих отходов. В связи с этим разработана новых методов в технологии удаления восковых веществ из масел, а именно усовершенствование технологических стадий кристаллизации и фильтрации суспензии является актуальной задачей. В [1] было рассмотрено усовершенствование технологической стадии фильтрации суспензии с использованием волокнистых фильтрующих материалов на основе полисульфона, когда фильтрация идет по принципу прилипания отрицательно заряженных частиц к положительно заряженным волокнам фильтрматериала. При этом волокнистые фильтрматериалы на основе полисульфона имеют стабильный заряд, полученный в процессе их производства (электроформования). Вопрос состоит в том, чтобы восковым веществам придавать отрицательный заряд. Воски за счет наличия в середине цепи эфирной группы обладают полярностью (рис. 1), которая в обычных условиях выражена слабо. Однако при их внесении во внешнее электромагнитное поле они намагничиваются, т.е. приобретают необходимый для фильтрации заряд.

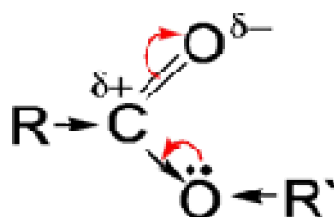


Рис. 1. Распределение электронной плотности внутри молекулы сложного эфира

Поэтому при извлечении воскоподобных веществ из масла наиболее перспективным направлением является использование электрического или электромагнитного полей [2–6], которое создает такие условия, при которых восковые частицы могут поляризоваться в большей степени, чем другие примеси [2, 4]. При охлаждении масла восковые вещества из растворенного состояния переходят в промежуточное мезоморфное, при котором снижаются их липофильные свойства, что увеличивает его полярность. Молекулярные силы, обеспечивающие упорядоченную структуру жидкого кристалла, малы. Поэтому жидкие кристаллы легко меняют структуру под действием различных внешних факторов (температуры, давления, излучения, электрических и магнитных полей и т. д.), что приводит к изменению их оптических, электрических и других свойств. Эта зависимость, в свою очередь, открывает богатые возможно-

сти при разработке новых методов их удаления. Отсюда следует, что применение электромагнитных методов может открыть для масложировой промышленности новые перспективы, связанные со специфическим действием электромагнитного поля на жиры и жировые системы [7, 8].

Исследование влияния электромагнитного поля на извлечение воска и воскоподобных веществ из подсолнечного масла. Для определения действия электромагнитного поля используем рафинированное невымороженное подсолнечное масло с известным количеством восковых веществ в нем. С целью полного растворения воска пробу подсолнечного масла с внесенным воском нагревали до температуры 90 – 105 °С и выдерживали при этой температуре до полного растворения воска в масле. Затем пробу подсолнечного масла охлаждали. Воск и восковые соединения выделялся в виде «сетки». Измерения электрофизических характеристик суспензии проводили при температуре 18 °С согласно методике, приведенной в [9, 10]. Для определения влияния электромагнитного поля на суспензию восковых веществ в масле и на проведение технологических операций её обрабатывали в электромагнитном поле в специальном лабораторном аппарате.

Результаты исследований электрофизических характеристик суспензии и влияния электромагнитного поля на нее представлены на рис. 2 и 3.

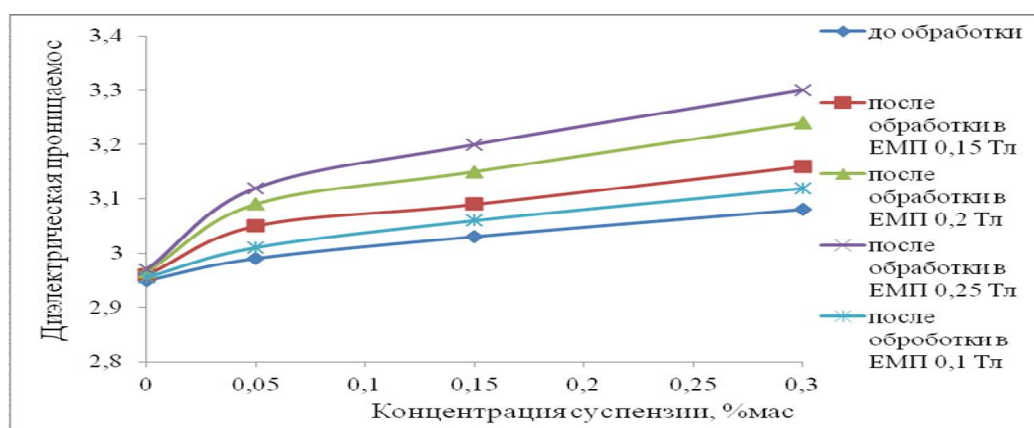


Рис. 2. Влияние электромагнитного поля на величину диэлектрической проницаемости суспензии

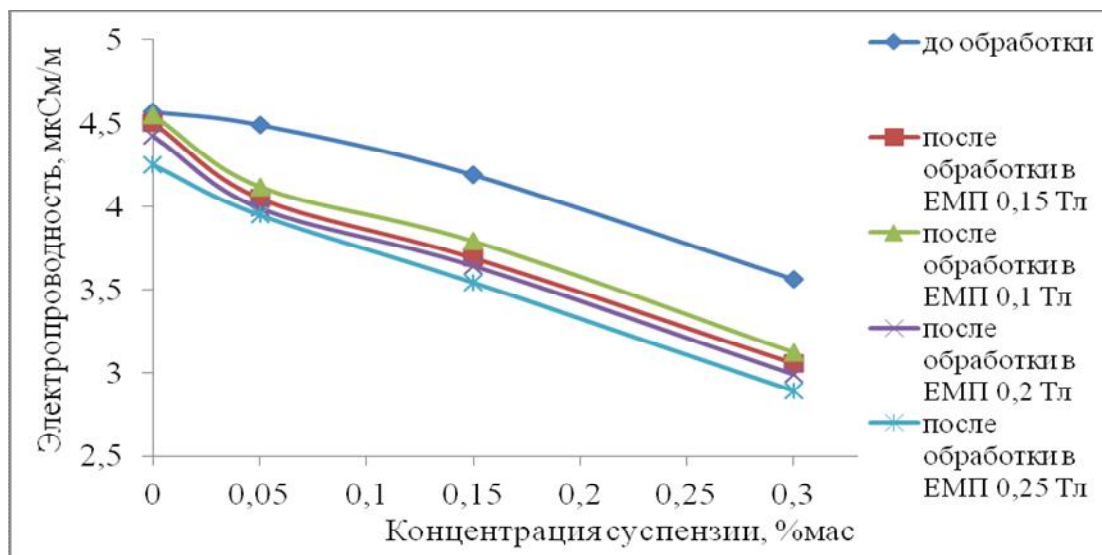


Рис. 3. Влияние электромагнитного поля на величину электропроводности суспензии

Из полученных данных на рис. 2 и 3 видно, что с увеличением концентрации воскоподобных веществ в масле, а также после обработки суспензии в электромагнитном поле, возрастает диэлектрическая проницаемость и снижается электропроводность, что свидетельствует об увеличении способности воска и воскоподобных веществ к поляризации в процессе их кристаллизации.

После прекращения действия электромагнитного поля на систему «масло-восковые вещества» наблюдается релаксация ее характеристик. Время релаксации устанавливаем по суспензии восковых соединений в подсолнечном масле концентрацией 0,05% масс. (500 мг / кг) (рис. 4 и 5).

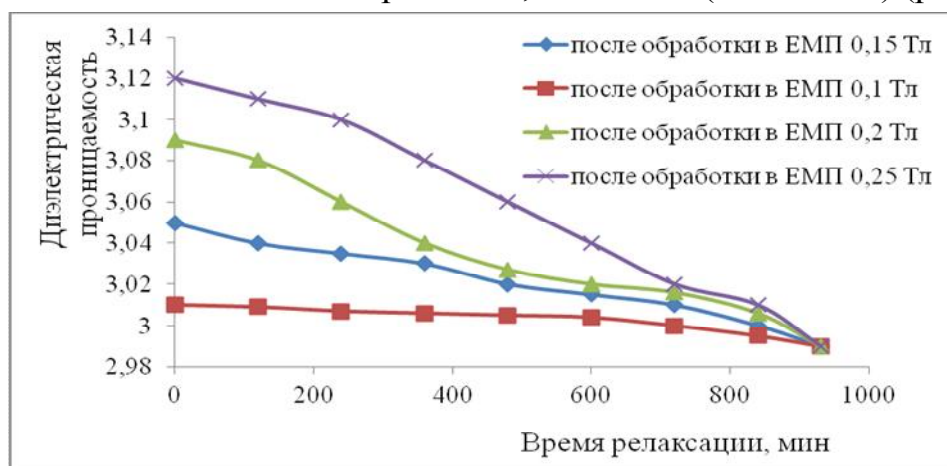


Рис. 4. Релаксация электрофизических характеристик суспензии (диэлектрической проницаемости)

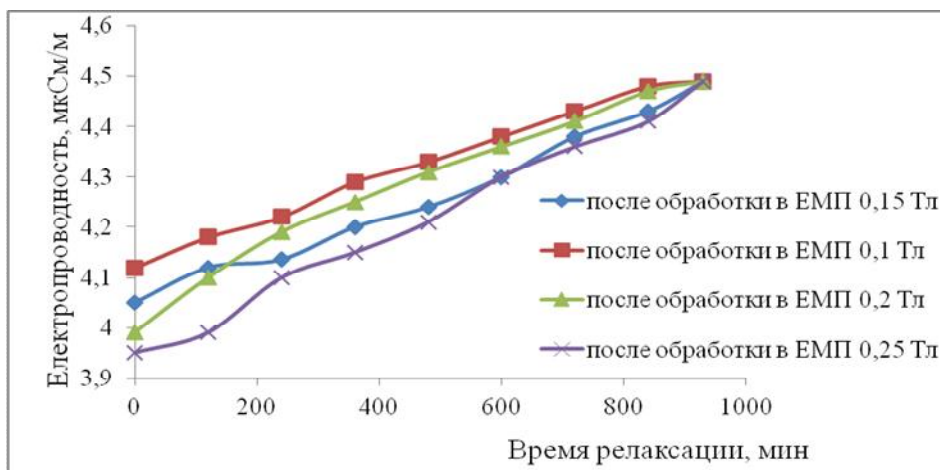


Рис. 5. Релаксация электрофизических характеристик суспензии (электропроводности)

Релаксация электрофизических характеристик восковых веществ связана с тем, что после прекращения воздействия электромагнитного поля на систему полярность воскоподобных веществ снижается, при этом наблюдается уменьшение диэлектрической проницаемости, а как следствие увеличение электропроводности, практически к исходным значениям. Определение эффективности оседания частиц воска и воскоподобных веществ проводим на модельном образце с содержанием воска концентрацией 1500 мг / кг (рис. 6).

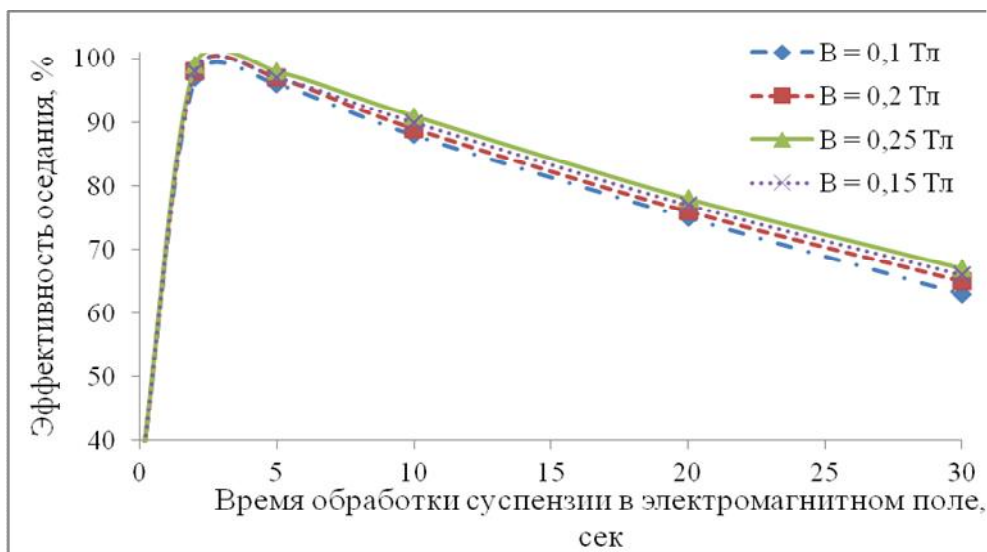


Рис. 6. Эффективность оседания восковых частиц

На рис. 6 показана эффективность оседания частиц воска и восковых веществ, когда под действием электромагнитного поля происходит улучшение образования агломератов воскоподобных веществ, увеличивается скорость оседания частиц и, как следствие, повышается эффективность их оседания.

Влияние электромагнитного поля на протекание физико-химических процессов в жидкой фазе в последнее время вызывает повышенный интерес ученых, проводится много исследований по использованию электромагнитной обработки сырья и материалов для изменения их химических показателей и протекания технологических процессов. Исследование такого влияния на процесс кристаллизации подсолнечного масла показало положительный результат.

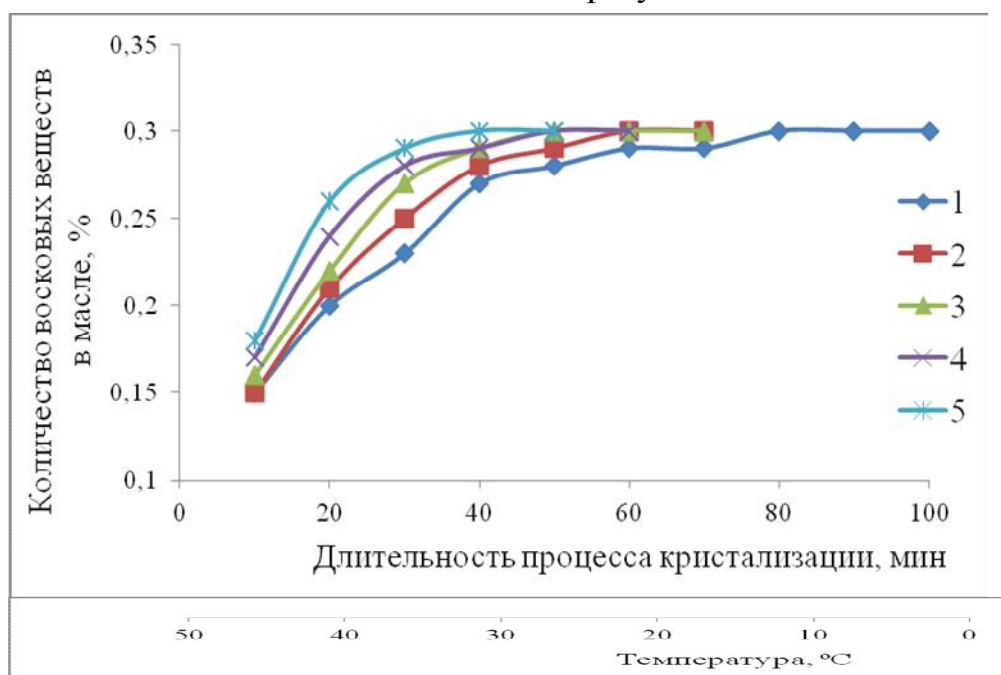


Рис. 7. Кристаллизация восковых веществ после обработки суспензии в электромагнитном поле при температуре 40–45 °C: 1 – без предварительной обработки суспензии; 2 – с предварительной обработкой ЭМП индукцией $B = 0,1$ Тл; 3 – с предварительной обработкой ЭМП индукцией $B = 0,15$ Тл; 4 – с предварительной обработкой ЭМП индукцией $B = 0,2$ Тл; 5 – с предварительной обработкой ЭМП индукцией $B = 0,25$ Тл.

Процесс кристаллизации восковых веществ в подсолнечном масле под воздействием электромагнитного поля изучен с помощью фотомет

рического метода. Испытания проводили на приборе колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2, позволяет проводить измерения оптической плотности при длине волны $\lambda = 440$ нм. Исследования проводили в кювете 10мм. По результатам испытаний установлено, что лучшее время обработки в электромагнитном поле суспензии составляет 2 секунды при напряженности электромагнитного поля $1,9 \cdot 10^5$ А/м и магнитной индукции 0,25 Тл.

Оптимальная температура обработки суспензии составляет 45–40 °С, что подтверждает данные о суммарной полярности восковых соединений в зависимости от температуры, что свидетельствует о том, что в этом интервале температур воски и воскообразные вещества находятся в промежуточном или мезоморфном состоянии, что увеличивает их способность к поляризации (данные показаны на рис. 7).

Поскольку изменения диэлектрической проницаемости и электропроводности суспензии подсолнечного масла при кристаллизации восков и воскоподобных веществ свидетельствует о приобретении кристаллами электрических зарядов, то установлена возможность использования электромагнитных полей в технологии вымораживания подсолнечного масла, а именно для повышения эффективности процесса кристаллизации суспензии (рис. 8 и 9).

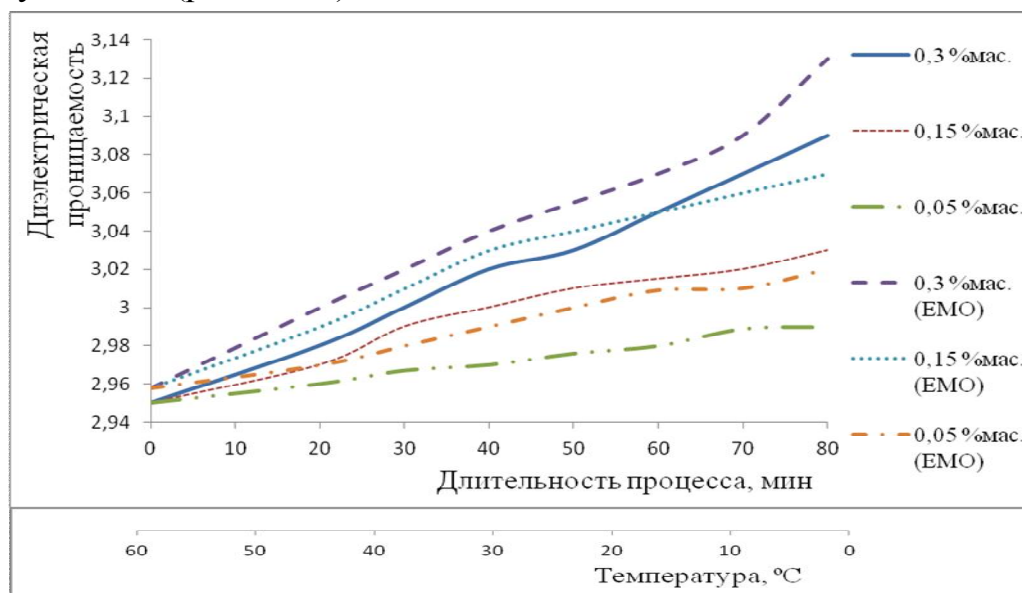


Рис. 8. Поляризация восковых соединений в процессе их кристаллизации (за диэлектрической проницаемостью)

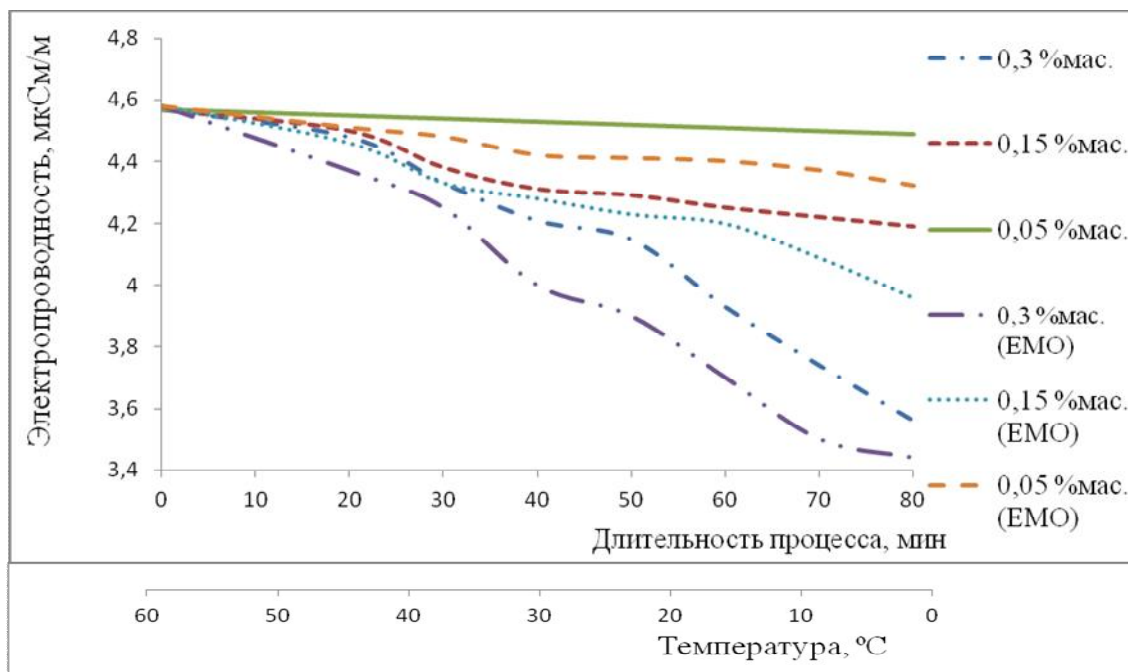


Рис. 9. Поляризация восковых соединений в процессе их кристаллизации (за электропроводностью)

При наличии на рабочей поверхности волокнистых фильтрующих материалов на основе полисульфона электрических зарядов доказана их способность вместе с электромагнитной обработкой сырья влиять на эффективность фильтрования суспензии воскоподобных веществ в подсолнечном масле. Показано положительное влияние использования предварительной обработки суспензии в электромагнитном поле перед фильтрованием. На рис. 10 представлен сравнительный график скорости фильтрации подсолнечного масла через волокнистый фильтр.

Из рис. 10 видно, что скорость фильтрования суспензии, прошедшей электромагнитную обработку выше чем без нее, что увеличивает фильтрующую способность волокнистых фильтров и дает возможность их эффективного использования. Это связано в основном с изменением свойств кристаллической структуры воска и воскоподобных веществ в электромагнитном поле, которые в результате приобретают электростатический заряд, что упрощает процесс фильтрования за счет электрокинетического взаимодействия и процесса адсорбции.

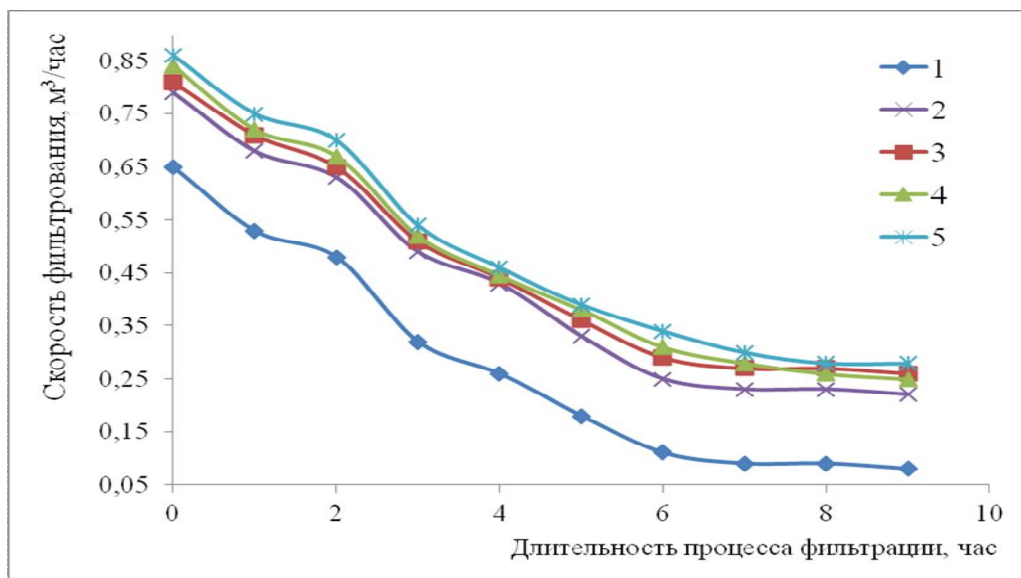


Рис. 10. Скорость фильтрации суспензии: 1 – без электромагнитной обработки суспензии; 2 – суспензия обработана в электромагнитном поле индукцией 0,1 Тл; 3 – суспензия обработана в электромагнитном поле индукцией 0,15 Тл; 4 – суспензия обработана в электромагнитном поле индукцией 0,2 Тл; 5 – суспензия обработана в электромагнитном поле индукцией 0,25 Тл.

Так как вместе с восковыми веществами выводятся и другие сопутствующие вещества, то определена эффективность использования обработки суспензии в электромагнитном поле (ЭМО) для улучшения показателей качества профильтрованного масла, результаты исследований представлены в таблице.

Таблица. Показатели подсолнечного масла после фильтрации

Показатели	Подсолнечное масло до фильтрации	Подсолнечное масло после фильтрации	Масло, после фильтрации с предварительной ЭМО суспензии			
			Магнитная индукция, Тл			
			0,1	0,15	0,2	0,25
Кислотное число, мг КОН/г	0,23	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14
Перекисное число, $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг	0,65	0,44	0,43	0,41	0,39	0,35
Цветное число, мг j ₂	15	10	10	10	7	5
Массовая доля влаги и летучих веществ, %	0,24	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12

Из таблицы видно, что после обработки суспензии в электромагнитном поле не только повышается эффективность фильтрации, но и наблюдается улучшения качественных показателей полученного воскового продукта, который может применяться в различных отраслях как самостоятельный продукт.

Выводы.

В результате проведенной работы установлена возможность использования электромагнитной обработки для извлечения воска и воскоподобных веществ из подсолнечного масла.

Установлены электрофизические характеристики суспензии восковых веществ в подсолнечном масле и обоснована возможность интенсификация технологических процессов кристаллизации восковых соединений и фильтрации суспензии под действием электромагнитного поля, специфическое действие которого открывает для масложировой промышленности новые перспективы.

Список литературы: 1. Использование электрофизических методов обработки подсолнечного масла в технологии вымораживания / *А.А. Нетреба, Ф.Ф. Гладкий, Г.В. Садовничий, Т.Г. Шкаляр* // Масложировой комплекс, 2014. – № 2 (45). – с. 29 – 33. **2.** *Герасименко Е.О.* Научно-практическое обоснование технологии рафинации подсолнечных масел с применением химических и электрофизических методов : автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: спец. 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» / Е.О. Герасименко. – Краснодар, 2004. – 28 с. **3** *Юхвид И.М.* Совершенствование технологии гидратации высокоолеиновых подсолнечных масел.: автореф. дис. на соискание ученой степени док-ра техн. наук: спец. 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» / И.М. Юхвид. – Краснодар, 2006. – 24 с. **4.** *Мартовцук Е. В.* Извлечение восков в электрическом поле / [*Е.В. Мартовцук, Н. С. Арутюнян, В.М. Копейковский и др.*] // Масложировая промышленность. 1980. – № 6. – С. 13 – 16. **5.** *Гюлушанян А.П.* Разработка способа повышения полярных свойств сопутствующих веществ и технологии их удаления из растительных масел. : автореф. дис. на соискание ученой степени кан-та техн. наук: спец. 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» / А.П. Гюлушанян. – Краснодар, 2007. – 23 с. **6.** *Бабушкин А.Ф.* Обоснование и разработка технологии рафинации подсолнечных масел с применением силиката натрия и физико-химических воздействий. : автореф. дис. на соискание ученой степени кан-та техн. наук: спец. 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» / А.Ф. Бабушкин. – Краснодар, 1999. – 26 с. **7.** *Кравчук Н.С.* Совершенствование технологии гидратации подсолнечных масел на основе изучения их электрофизических свойств. : автореф. дис. на соискание ученой степени кан-та техн. наук: спец. 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» /

Н.С. Кравчук. – Краснодар, 2002. – 25 с. **8.** Оптимизация процесса рафинации соевого масла / М. В. Лапшина, С. В. Леванова, Н. В. Ревякина, Е. А. Кучканова // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2003. – Т. 46, № 4. – С. 25-28. **9.** [Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии](#) / Пентин Ю.А. Вилков Л.В. – М.: Мир, 2003. – 683 с. **10.** Минкин В.И. Дипольные моменты в органической химии / Минкин В.И., Осипов О.А., Жданов Ю.А. – Л.: Химия, 1968. – 248 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Ispol'zovanie jelektrofizicheskikh metodov obrabotki podsolnechnogo masla v tehnologii vymorazhivaniya / A.A. Netreba, F.F. Gladkij, G.V. Sadovnichij, T.G. Shkaljar. Maslozhirovoj kompleks, 2014. – No. 2 (45). – p. 29 – 33. **2.** Gerasimenko E.O. Nauchno-prakticheskoe obosnovanie tehnologii rafinacii podsolnechnyh masel s primeneniem himicheskikh i jelektrofizicheskikh metodov : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni d-ra tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhиров, jefirnyh masel i parfjumerno-kosmeticheskikh produktov» / E.O. Gerasimenko. – Krasnodar, 2004. – 28 p. **3.** Juhvid I.M. Sovershenstvovanie tehnologii gidratacii vysokooleinovyh podsolnechnyh masel.: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni dok-ra tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhиров, jefirnyh masel i parfjumerno-kosmeticheskikh produktov» / I.M. Juhvid. – Krasnodar, 2006. – 24 p. **4.** Martovshhuk E. V. Izvlechenie voskov v jelektricheskom pole / [E.V. Martovshhuk, N. S. Arutjunjan, V.M. Kopejkovskij i dr.] // Maslozhirovaja promyshlennost'. 1980. – No. 6. – P. 13 – 16. **5.** Gjulushanjan A.P. Razrabotka sposoba povysheniya poljarnyh svojstv soputstvujushhих veshhestv i tehnologii ih udaleniya iz rastitel'nyh masel. : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kan-ta tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhиров, jefirnyh masel i parfjumerno-kosmeticheskikh produktov» / A.P. Gjulushanjan. – Krasnodar, 2007. – 23 p. **6.** Babushkin A.F. Obosnovanie i razrabotka tehnologii rafinacii podsolnechnyh masel s primeneniem silikata natriya i fiziko-himicheskikh vozdeystvij. : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kan-ta tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhиров, jefirnyh masel i parfjumerno-kosmeticheskikh produktov» / A.F. Babushkin. – Krasnodar, 1999. – 26 p. **7.** Kravchuk N.S. Sovershenstvovanie tehnologii gidratacii podsolnechnyh masel na osnove izuchenija ih jelektrofizicheskikh svojstv. : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kan-ta tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhиров, jefirnyh masel i parfjumerno-kosmeticheskikh produktov» / N.S. Kravchuk. – Krasnodar, 2002. – 25 p. **8.** Optimizacija processa rafinacii soevogo masla / M. V. Lapshina, S. V. Levanova, N. V. Revjakina, E. A. Kuchkanova. Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija. 2003. – Т. 46, No. 4. – P. 25–28. **9.** Pentin Ju.A. Fizicheskie metody issledovaniya v himii / Pentin Ju.A. Vilkov L.V. – Moscow: Mir, 2003. – 683 p. **10.** Minkin V.I. Dipol'nye momenty v organicheskoy himii / Minkin V.I., Osipov O.A., Zhdanov Ju.A. – Leningrad: Himija, 1968. – 248 p.

Поступила (received) 05.09.14

П.Ф. ПЕТИК, к.т.н., директор, Український науково-дослідний інститут олій та жирів УкрНДІОЖ НААН, Харків

З.П. ФЕДЯКІНА, зав. лабораторії, Український науково-дослідний інститут олій та жирів УкрНДІОЖ НААН, Харків

НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ СИРОВИННИХ РЕСУРСІВ ОЛІЄЖИРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У цій статті наведено аналіз науково-технічної літератури щодо використання вторинних ресурсів і відходів олієжирової промисловості: соняшникових шротів, гідратаційних осадів, соапстоків, відпрацьованих відбільних глин і фільтрувальних порошків, а також дезодораційних погонів, які утворюються під час видобування і рафінації соняшnikової олії. Особливістю публікації є те, що в ній використано результати наукових досліджень аспірантів кафедри технології жирів і продуктів бродіння НТУ «ХПІ», у галузі розробки інноваційних технологій з утилізації жиромістивних відходів олієвидобування і жиропереробки.

Ключові слова: переробка жиромістивних відходів, шрот, фосфоліпідна емульсія, соапсток, відбільні глини, фільтрувальні порошки, погони дезодорації.

Вступ. В умовах переходу харчової та переробної промисловості до ринкової економіки переведення виробництва на замкнуті цикли розглядається як один з основних напрямків у вирішенні питання раціонального використання природно-сировинних ресурсів і охорони довкілля. Вимоги сучасного ринку обумовлюють необхідність створення та запровадження у виробництво технологій з низькою енерго-, ресурсо- і капіталоємністю, які дозволяють випускати якісну та конкурентоспроможну продукцію.

Більшість сучасних технологічних процесів видобування та переробки рослинних олій є багатовідхідними. В олієжировій промисловості утворюється значна кількість побічних продуктів та відходів, які завдяки вмісту жирів, фосфоліпідів, білків, вітамінів, природних антиоксидантів, восків, мають високі споживчі властивості. До таких відходів, які є потенційною вторинною сировиною, відносять макуху, шрот, фосфоліпідну емульсію, соапстоки, відпрацьовані фільтрувальні порошки та відбільні

глини, дезодораційні погони [1–3]. Обсяги утворення цих відходів в цілому по Україні за оцінками фахівців складають 30 млн. тон, а середній рівень їх промислової переробки ледь перевищує 30 % від утвореної маси [1].

Аналіз останніх досліджень та літератури. Традиційним шляхом використання шроту та макухи є виготовлення комбікормів. Так, у рецептурах комбікормів для вирощування та відгодівлі молодняка крупної рогатої худоби та свиней шрот складає 8-13 %; для відгодовування бройлерів шрот та макуха вводяться в кількості 8-20 % [2]. У теперішній час соняшникові макуха та шрот розглядаються як потенційні джерела білкових продуктів (ізолятів, структуратів та концентратів), які мають широкий спектр застосування. Використання шротів та макухи для одержання рослинного білку визначається необхідністю з меншими витратами коштів і часу одержати повноцінний білок харчового та кормового призначення [3]. В лабораторних умовах УкрНДІОЖ НААН та НТУ «ХП» опочатковано способи одержання рослинних білків із соняшникового шроту з використанням етилового спирту (концентрацією 80 %) та його суміші з гексаном у співвідношенні 1:1 [4]. Ефективність запропонованих технологічних рішень підтверджено застосуванням технологічного, чистого та харчового розчинника – етанолу замість вуглеводневого розчинника і високою якістю білкових продуктів (масова частка сирого протеїну складає більше 65 %). Останні відповідно вимогам ДСТУ 4596 [5] можна позиціювати як білкові концентрати або білкові ізоляти.

Слід відмітити, що, в свою чергу, сам шрот спиртової екстракції має більш світле забарвлення і високу біологічну цінність білків за рахунок часткового переходу у спиртовий розчин низькомолекулярних речовин – поліфенолкіслот, моносахаридів, мінеральних домішок. Одержання світлих білкових продуктів зі шротів соняшнику утруднюється присутністю в ньому біологічно активних поліфенольних сполук, часток лущиння, меланоїдинових та інших забарвлених речовин.

Дослідниками лабораторії рафінації УкрНДІОЖ НААН [6] було показано, що фенольні сполуки можуть бути вилучені з соняшникового шроту обробкою 70 %-ним розчином етанолу і 50 %-ним розчином ізоп

ропілового спирту. При цьому масова частка фенольних кислот знижується з 0,8–1,0 % до 0,05–0,055 %. Слід відмітити, що основну частку видалених фенольних сполук (~ 90 %) представляє хлорогенова кислота, яка за даними авторів [4, 6] є ефективним антиоксидантом. Таким чином, комплексна переробка соняшникового шроту із застосуванням етилового спирту або сумішевих розчинників дозволяє одержувати високоякісні білкові продукти і технічні антиоксиданти, що може позитивно вплинути на техніко-економічні показники екстракційного виробництва.

Матеріали досліджень. Основна кількість відходів олієжирової промисловості утворюється в процесі переробки рослинних олій, а саме під час їх рафінації. Так, в процесі видалення фосфоліпідів з рослинної олії (гідратації) утворюється фосфоліпідна емульсія (гідратаційний осад) наступного складу: волога – 60–65 %; домішки – 1–3 %; олія та полярні ліпіди – 32–39 %. Якщо гідратацію чинять на олієвидобувному підприємстві, то фосфоліпідну емульсію направляють до установки видалення розчинника і кондиціювання шроту. Це підвищує калорійність шроту та сприяє зниженню кількості пилу в ньому. Традиційним способом переробки фосфоліпідної емульсії є її висушування у ротаційно-плівкових апаратах ($t = 85\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{ост}} = 0,005\text{--}0,08\text{ МПа}$) з одержанням фосфатидних концентратів харчового або кормового призначення [7].

В залежності від потреб споживачів фосфатидні концентрати можуть мати різну консистенцію, бути знебарвленими і прозорими. Сухі фосфоліпідні суміші можуть бути одержані за рахунок додавання цукру, крохмалю або знежиреного молочного порошку [3].

Емульгуючі властивості фосфоліпідів можна покращити додаванням таких емульгаторів як жирні ефіри поліетиленгліколю. Однак, навіть таких відносно простих методів не завжди достатньо для суттєвого покращення технологічних показників товарних фосфоліпідів.

Сучасні технології одержання високоякісних фосфоліпідних продуктів базуються на використанні методів фракціонування та хімічної або ферментативної модифікації [8]. Відома велика кількість способів фракціонування фосфоліпідів для крупномасштабного виробництва лецитину – фосфатиділхоліну, які базуються на розділенні неполярних (ацилгліцеринів) та полярних ліпідів (фосфоліпідів) в ацетоні. Останній відрізня

ється високою токсичністю та значними витратами (гідромодуль складає 1:8). Олієжирова промисловість України випускає фосфатидні концентрати зі вмістом фосфоліпідів 40–60 % [9], обсяг випуску на підприємствах, обсяг випуску на підприємствах, що входять до Асоціації «УкрОлія-пром» у 2013 р. склав близько 7 тис. тон. Ці продукти сьогодні мають досить вузький спектр застосування.

Сучасні галузі харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості потребують більш висококонцентрованих, збагачених фосфатидилхолінами (лецитинами) та фосфатидилетаноламінами (кефалинами) фракційованих продуктів. Серед великої кількості науково-дослідних робіт, що стосуються технологій одержання фосфоліпідних продуктів, слід відзначити роботи вітчизняних дослідників.

Так, у Дніпропетровському державному аграрному університеті [10] розроблено технологію одержання висококонцентрованих (95 %-вих) фосфоліпідів соняшnikової олії, яка заснована на процесі знежирення фосфатидного концентрату ізопропіловим спиртом за температур в діапазоні 50–80 °С і низьких значеннях гідромодуля (спочатку 1:2, далі 1:1). Це дозволило підвищити швидкість екстрагування, скоротити витрати екстрагенту у 5–6 разів у порівнянні з ацетоновою екстракцією, знизити енерговитрати на регенерацію екстрагенту і підвищити якість знежирених фосфоліпідів за рахунок переважного вмісту фосфатилілхолінів, фосфатидилінозитолів та фосфатидилетаноламінів.

Наступним кроком у розробці технологій високоякісних фосфоліпідів з вітчизняної сировини були сумісні наукові роботи кафедри технології жирів та продуктів бродіння НТУ «ХП» та УкрНДІОЖ (м. Харків). Внаслідок проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологію одержання високоякісних концентрованих (75 %-них) фосфоліпідів, яка базується на фракціюванні знежиреного фосфатидного концентрату етиловим спиртом-ректифікатом (співвідношення компонентів 1:1, температура 50–60 °С) з одержанням лецитинової та кефалінової фракцій зі вмістом фосфоліпідів 35,5 та 85,0 % відповідно [11].

Запропонована технологія обробки знежиреного фосфатидного концентрату етиловим спиртом передбачає інші варіанти, які перед-

бачають одержання нефракційованого концентрованого фосфоліпідного продукту зі вмістом фосфоліпідів 78 % або навіть порошкоподібного 97 % продукту, що відповідає світовим вимогам до фосфатидних ізолятів.

Цими ж авторами [12] запропоновано низку технологій хімічного модифікування кормового соняшникового фосфатидного концентрату, що дозволяють одержувати ефективні поверхнево-активні речовини багатofункціонального технічного призначення (виробництво лакофарбових матеріалів, емалей, асфальтобетону і т. ін.).

Доцільно зазначити, що у фармацевтичних препаратах використовуються лецитини з високим вмістом фосфатидилхоліну, що практично не містять фосфатидилетаноламін. Такий продукт можна одержати, якщо фосфоліпіди пропустити через хроматографічну колонку, заповнену оксидом амонію і оксидом магнію. Після випарювання елюату одержують практично чистий фосфатидилхолін. Такий продукт неможливо одержати фракціюванням за допомогою розчинників. Звичайно, хроматографічні адсорбційні методи мають високу вартість [13] і, не зважаючи на високі фізіологічні і технологічні властивості такого лецитину, не можуть застосовуватись для багатотонажного виробництва фосфоліпідних продуктів. Під час лужної нейтралізації олій та жирів утворюється велика кількість соапстоку. Згідно діючої нормативної документації [14] масова частка загального жиру складає не більше 25 %.

Утилізації підлягає та частина соапстоку, яка складається з солей жирних кислот (мила), нейтрального жиру та лугу. Низька концентрація цих складових (в сумі 22–40 %) є основною причиною того, що соапстоки безпосередньо не знаходять широкого застосування у народному господарстві. До того ж, споживча цінність соапстоків залежить від співвідношення зазначених компонентів, яке обумовлено видом рослинної олії, способом нейтралізації, ступеню попереднього очищення, а також способами переробки власне соапстоків [3, 7].

В залежності від компонентного складу та подальшого використання соапстоки піддають різним способам переробки: доомиленню нейтрального жиру [3], низькотемпературному концентруванню за допомогою хлориду натрію [15], сірчанокислотному розкладанню [16], гідруванню [17], утворюванню [18] і навіть висушуванню [19]. Технологічні

параметри кожного із зазначених способів, а також порівняльні техніко-економічні показники переробки відходів лужної нейтралізації наведено у огляді [3]. Традиційним напрямком використання соапсточних жирів є миловаріння. Рідке господарче мило, яке одержують після упарювання соапстоків, також має широкий спектр застосування у різних технологіях, зокрема під час первинної обробки вовни, для очищення і полірування деталей, у гірськовидобувній промисловості, у виробництві синтетичних миючих засобів, в текстильній промисловості і т. ін. Після невдалих спроб запровадити дистиляційну нейтралізацію рослинних олій і уникнути утворення соапстоків сьогодні спостерігається повернення технологів і науковців до класичних технологій лужної нейтралізації. Так, в роботі [20] показано, що застосування системи розчинників вода-гліцерин-етанол під час лужної нейтралізації у мильно-лужному середовищі забезпечує максимально ефективно розділення фаз, мінімальні втрати нейтрального жиру, зниження на 30–33 % вторинних продуктів окиснення, а також поліпшення техніко-економічних показників виробництва, зокрема зменшення вартості рафінованої олії на 62,3 грн/т та одержання додаткового прибутку у розмірі 124 грн/т за рахунок виробництва побічного продукту з соапстоку – рідкого мила. Нарешті існує думка, що соапсточні жири доцільно використовувати під час відгодівлі жуйних тварин. Фахівці вважають, що продуктивна дія соапсточних жирів перевищує їх енергетичну цінність із-за наявності біологічно активних речовин (холіну, токоферолів, каротиноїдів, лінолевої кислоти). До того ж, наявність у соапстоці 0,2 % гідроксиду натрія сприяє розм'якшенню клітковини, яка міститься у комбікормах, що обумовлює її краще перетравлення. Дослідження показали, що раціони харчування з використанням соапсточних жирів дозволяють одержувати щодобовий приріст маси тварин від 800 до 1100 г [3].

Відпрацьовані відбійні глини утворюються під час адсорбційного очищення рослинних олій або модифікованих (гідрогенізованих чи перетерифікованих) жирів. В залежності від способу та обладнання для фільтрування масова частка жиру у відпрацьованих відбійних глинах коливається у межах 20–65 % [21]. Особливою проблемою під час утилізації таких відходів є їх висока схильність до окиснення. Крім цього, відп

рацьовані глини утворюють пірофорні залишки, які здатні до самоспалахування. Транспортування та поховання цих залишків пов'язано із додатковими витратами і завдає шкоди довкіллю. Таким чином, викидати відпрацьовані віддільні глини «у відвал» не дозволяється. Глини відбільні жирні, що відповідають стандарту, теоретично можуть бути використані як мінеральні добавки у комбікормах, але використання їх у цьому напрямку недоцільно, оскільки економічні затрати (транспортування, спеціальний транспорт і засоби дозування і т. ін.) значно перевищують позитивний ефект відгодівлі.

З науково-технічної літератури відомо про деякі напрями у переробці відпрацьованих відбільних глин, наприклад, знежирення гарячою водою або кип'ятінням з розчином хлориду натрія чи карбонату натрія з одержання технічного жиру і сухого залишку як замітника землі чи піску для звалищ. Існують методи знежирення відпрацьованих відбільних глин за допомогою надкритичного діоксиду вуглецю або летких розчинників (гексан), а також під тиском (0,3–3 МПа) у комбінації з водою і гідроксидом натрію [3]. Відпрацьовані максимально знежирені відбільні глини можуть бути використані для виготовлення мильної пасту багатопільового призначення (миття рук і поверхонь, змочування форм і добавка у будівництві, виготовлення залізобетонних конструкцій і керамзитового гравію). За діючою в Україні нормативною документацією [21] передбачено використання відпрацьованих відбільних глин як: марка М 1 для виготовлення комбікормів, марка М 2 – виготовлення паст для миття й чищення. Під час фільтрації вимороженої рафінованої соняшникової олії утворюється осад відпрацьованого жирного перліту, який є сумішшю речовин ліпідного і неліпідного характеру. До його складу входять воскоподібні речовини і вуглеводні, фосфоліпіди, волога і леткі речовини, продукти окиснення та пігменти. Відпрацьований жирний перліт використовується як добавка до раціону годівлі домашніх тварин. За основними якісними показниками жирний перліт відповідає вимогам відповідного стандарту, але містить значну кількість жиру (83,0–85,0 %) [3]. Для знежирення його направляють у вакуумний фільтр і за температури 80–85 °С піддають фільтруванню. Після знежирення шляхом фільтрування під вакуумом одержують олію соняшникову рафіновану, збагачену воскоподібними речовинами (6,0–8,0 %) і фільтрувальний осад.

Порошок фільтрувальний жирний відповідає стандарту [21] і використовується як жиромістивна добавка у раціоні домашніх тварин.

Олія соняшникова, збагачена воскоподібними речовинами після відбілювання та дезодорування є самостійним жировим продуктом для використання у маргариновому, парфумерному і фармацевтичному виробництвах. Вторинним матеріальним ресурсом у виробництві дезодорованої рослинної олії є погони дезодорації, вихід яких складає 0,2 % до маси олії, що дезодорується. За кордоном найбільш перспективним вважається концентрування погонів дезодорування до масової частки неомилених речовин 25–40 % і подальшої переробки з одержанням концентратів фітостеролу і токоферолу методами молекулярної дистиляції і кристалізації з охолодженого ацетону. Концентрати зі вмістом фітостеролів 80 % і токоферолів 50 % використовують як біологічно активні речовини у харчовій, фармацевтичній і косметичній промисловості. Є багаторічний досвід використання погонів дезодорації як кормової добавки у раціони харчування хутрових звірів [22]. Національний стандарт України ДСТУ 4610 [24] передбачає одержання деодистилятів рідких олій (марка ДР-1 для комбікормів, ДР-2 – для технічних потреб) та деодистилятів твердих олій і модифікованих жирів марка ДТ-1 для технічних потреб).

Висновки. Звичайно, представлений матеріал не вирішує всіх проблем, пов'язаних з кваліфікованим використанням вторинних сировинних ресурсів олієжирової промисловості, але, в певній мірі, окреслює можливі технологічні і економічні доцільні шляхи використання жиромістивних відходів видобування та рафінування олій та жирів. Більш повному і ефективному використанню вторинних сировинних ресурсів сприятиме підвищення зацікавленості олієжирових підприємств у реалізації продуктів їх переробки шляхом зміни цінової політики та посилення контролю за їх використанням, а також постійне наукове забезпечення інноваційних технологій у сфері раціонального природокористування.

Список літератури: 1. Паронян В.Х. Вторичные сырьевые ресурсы и охрана окружающей среды / В.Х. Паронян : кн. «Технология жиров и жирозаменителей». – М.: ДеЛи принт, 2006. – С. 663–681. 2. Григорьева В. Использование жировых отходов масложировой промышленности в кормовых целях / В. Григорьева, В. Мачигин // Олійно-жировий комплекс, 2005. – № 4 (11). – С. 40–42. 3. Дехтерман Б.А. Вторичные материальные ресурсы и их использование: Материалы н-практ. семинара «Современные технологи и оборудование при перера-

ботке подсолнечного масла» – Винница: МП «Инвест-ЛТД», 1996. – Гл. IX. – 39 с. **4.** *Литвиненко Е.А.* Получение белковых продуктов из семян подсолнечника / *Е.А. Литвиненко, Л.И. Перевалов, П.Ф. Петик, З.П. Федякина, Д.Е. Добрунов* // Масложировой комплекс, 2013. – № 2 (41). – С. 37–40. **5.** Білок соняшниковий. Технічні умови: ДСТУ 4596. - [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 20 с. **6.** *Шаповалова И.Е.* Возможность использования подсолнечного шрота как источника природного антиоксиданта – хлорогеновой кислоты / *И.Е. Шаповалова, З.П. Федякина* // Масложировой комплекс, 2013. – № 2 (41). – С. 49–50. **7.** *Арутюнян Н.С.* Рафинация масел и жиров: Теоретические основы, практика, оборудование / *Н.С. Арутюнян, Е.П. Корнена, Е.А. Аришева.* – СПб: ГИОРД, 2004. – 228 с. **8.** *Крамаренко А.А.* Способы получения фосфолипидных продуктов / *А.А. Крамаренко, И.Н. Демидов* // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, 2008. – № 2. – С. 58–62. **9.** Концентрати фосфатидні. ТУ: СОУ 15.4-37-212 - [Чинний від 2005-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 37 с. **10.** *Кобзар М.В.* Технологія одержання висококонцентрованих фосфоліпідів соняшникової олії: автореф. Дис.. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів». – Дніпропетровськ, 2005. – 20, [1] с. **11.** *Крамаренко А.О.* Технологія переробки фосфоліпідів соняшникової олії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів». – Х., 2008. – 21, [1] с. **12.** *Крамаренко А.А.* Направления применения фосфолипидных продуктов в зависимости от их технологических функций / *А.А. Крамаренко, И.Н. Демидов* // Вісник НТУ «ХП». – Х., 2007. № 27. – С. 78–83. **13.** G.L. Dashiell in D.R. Frickson, ed. Edible fats and oils processing: basic principles and modern practices // JAOCs. 1990. – Vol. 60, N. 3. – P. 396–401. **14.** Соапсток. ТУ: СОУ 15.4-37-207 – [Чинний від 2005-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 37 с. **15.** *Воловская С.Н.* Совершенствование способов переработки соапстоков / *С.Н. Воловская, Г.Я. Смирнов, А.Б. Рафальсон* // сб. ЦНИИТЭИПищепром, 1979. – С. 20. – Вып. 8. – 36 с. **16.** *Файнберг Е.Е.* Технологическое проектирование жироперерабатывающих предприятий / *Е.Е. Файнберг, И.М. Товбин, А.В. Луговой.* – М.: Легкая и пищ. промышл., 1983. – 415 с. **17.** *Мажидов К.Х.* Рациональное использование отходов рафинации масел / *К.Х. Мажидов, Р. Рахманкулов* // сб. ЦНИИТЭИПищепром, 1984. – С. 20. – Вып. 1. – 16 с. **18.** *Ткаченко С.И.* Упаривание соапстоков в трубчатых выпарных аппаратах / *С.И. Ткаченко, Ю.К. Пинчук, В.З. Глоба, В.Г. Мармитко* // Масложировая промышленность, 1980. – № 1. – С. 21–23. **19.** *Bartov G.* Differential effects of dietary acidulated soybean oil soapstok, cottonseed oil soapstok and tallow on broiler carcass characteristics / *G. Bartov, E. Lipstein, S. Bornstein* // Poultry Sci., 1974. – № 53. – P. 115–124. **20.** *Петік І.П.* Технологія лужної нейтралізації жирів в системі вода-гліцерин-етанол: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів». – Х., 2013. – 20, [1] с. **21.** Глини вибілюючі жирні та порошки фільтрувальні жирні. ТУ: СОУ 15.4-37-210. – [Чинний від 2005-07-01]. – К.: Мінагрополітики України, 2004. – 16 с. **22.** *Васильева Г.Д.* Дезодорация растительных масел и жиров. – СПб: ГИОРД, 2000. – 192 с. **23.** Деодистиллят (олія кисла, олія скруберна). ТУ: ДСТУ 4610. - [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 14 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Paronjan V.H.* Vtorichnye syr'evye resursy i ohrana okruzhajushhej sredy: kn. «Tehnologija zhиров i zhirozamenitelej». – Moscow. DeLi print, 2006. –

P. 663–681. **2.** *Grigor'eva V.* Ispol'zovanie zhirovyh othodov maslozhirovoj promyshlennosti v kormovyh celjah / *V. Grigor'eva, V. Machigin* // *Olijno-zhirovij kompleks*, 2005. – No. 4 (11). – P. 40–42. **3.** *Dehterman B.A.* Vtorichnye material'nye resursy i ih ispol'zovanie: Materialy n-prakt. seminaru «Sovremennye tehnologi i oborudovanie pri perera-botke podsolnechnogo masla» – Vinnica: MP «Invest-LTD», 1996. – Gl. IX. – 39 p. **4.** *Litvinenko E.A.* Poluchenie belkovyh produktov iz semjan podsolnechnika / *E.A. Litvinenko, L.I. Perevalov, P.F. Petik, Z.P. Fedjakina, D.E. Dobrunov.* Maslozhirovoj kompleks, 2013. – № 2 (41). – P. 37–40. **5.** Bilok sonjashnikovij. Tehnichni umovi: DSTU 4596. – [Chinnij vid 2006-01-01]. – Kyiv. Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2007. – 20 p. **6.** *Shapovalova I.E.* Vozmozhnost' ispol'zovanija podsolnechnogo shrota kak istochnika prirodnoho antioksidanta – hlorogenovoj kisloty / *I.E. Shapovalova, Z.P. Fedjakina* // *Maslozhirovoj kompleks*, 2013. – No. 2 (41). – P. 49–50. **7.** *Arutjunjan N.S.* Rafinacija masel i zhirov: Teoreticheskie osnovy, praktika, oborudovanie / *N.S. Arutjunjan, E.P. Kornena, E.A. Arisheva.* – SanktPeterburgb: GIOR, 2004. – 228 p. **8.** *Kramarenko A.A.* Sposoby poluchenija fosfolipidnyh produktov / *A.A. Kramarenko, I.N. Demidov.* Voprosy himii i himicheskoy tehnologii. – Dnepropetrovsk, 2008. – No. 2. – P. 58–62. **9.** Koncentrati fosfatidni. TU: SOU 15.4-37-212 – [Chinnij vid 2005-07-01]. – Keiv: Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2005. – 37 p. **10.** *Kobzar M.V.* Tehnologija oderzhannja visokokoncentrovanih fosfolipidiv sonjashnikovoï oliï: avtoref. Dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhiriv, efirnih masel i parfumerno-kos-metichnih produktiv». – Dnipropetrovsk, 2005. – 20, [1] p. **11.** *Kramarenko A.O.* Tehnologija pererobki fosfolipidiv sonjashnikovoï oliï: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhiriv, efirnih masel i parfumerno-kosmetichnih produktiv». – Kharkov, 2008. – 21, [1] p. **12.** *Kramarenko A.A.* Napravlenija primenenija fosfolipidnyh produktov v zavisimosti ot ih tehnologicheskikh funkcij / *A.A. Kramarenko, I.N. Demidov.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov, 2007. No. 27. – P. 78–83. **13.** *G.L. Dashiell* in *D.R. Frickson*, ed. Edible fats and oils processing: basic principles and modern practices. JAOCs. 1990. – Vol. 60, No. 3. – P. 396–401. **14.** Soapstok. TU: SOU 15.4-37-207 – [Chinnij vid 2005-07-01]. – Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2004. – 37 p. **15.** *Volotovskaja S.N.* Sovershenstvovanie sposobov pererabotki soapstokov / *S.N. Volotovskaja, G.Ja. Smirnov, A.B. Rafal'son.* sb. CNIITJeIPishheprom, 1979. – Ser. 20. – V. 8. – 36 p. **16.** *Fajnberg E.E.* Tehnologicheskoe proektirovanie zhiropererabatyvajushhijh predpriyatij / *E.E. Fajnberg, I.M. Tovbin, A.V. Lugovoj.* – Moscow. Legkaja i pishh. promyshlennost', 1983. – 415 p. **17.** *Mazhidov K.H.* Racional'noe ispol'zovanie othodov rafinacii masel / *K.H. Mazhidov, R. Rahmankulov.* sb. CNIITJeIPishheprom, 1984. – Ser. 20. – Vyp. 1. – 16 p. **18.** *Tkachenko S.I.* Uparivanie soapstokov v trubchatih vyparnyh aparatih / *S.I. Tkachenko, Ju.K. Pinchuk, V.Z. Globa, V.G. Marmitko.* Maslozhirovaja promyshlennost', 1980. – No. 1. – P. 21–23. **19.** *Bartov G.* Differential effects of dietary acidulated soybean oil soapstok, cottonseed oil soapstok and tallow on broiler careass falt character isties / *G. Bartov, E. Lipstein, S. Bornstin.* Pultry Sci., 1974. – No. 53. – P. 115–124. **20.** *Petik I.P.* Tehnologija luzhnoi nejtralizacii zhiriv v sistemi voda-glicerin-etanol: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.18.06 «Tehnologija zhiriv, efirnih masel i parfumerno-kosmetichnih produktiv». – Kharkov, 2013. – 20 p. **21.** Glini vibiljujuchi zhirni ta poroshki fil'truval'ni zhirni. TU: SOU 15.4-37-210. – [Chinnij vid 2005-07-01]. – Kyiv: Minagropolitiki Ukraïni, 2004. – 16 p. **22.** *Vasil'eva G.D.* Dezodoracija rastitel'nyh masel i zhirov. – SPb: GIOR, 2000. – 192 p. **23.** Deodistiljat. TU: DSTU 4610. – [Chinnij vid 2008-01-01]. – Keiv: Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2006. – 14 p.

Надійшла (received) 05.09.2014

С.І. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;
О.І. ОЛЬХОВСЬКА, асистент НТУ «ХПІ»;
А.В. СЕРІКОВ, канд. физ-мат. наук, проф. ХНУСА, Харків;
М.М. ЗПУННІКОВ, канд. техн. наук, ст. викладач НТУ «ХПІ»;
С.П. ІГЛІН, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;
С.Є. ГАРДЕР, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;
А.І. КЛИМАШКО, магістр НТУ «ХПІ»;
А.А. БОРХОВИЧ, магістр УПА, Харків;
С.К. ЛІЗУНОВ, студент НТУ «ХПІ»;
Є.Г. ШЕХОВЦОВ, студент НТУ «ХПІ»;
В.А. ПОЗНОКОС, студент НТУ «ХПІ»;
Д.В. КОЛОБРОДОВА, бакалавр ХНУВС, Харків;
М.С. ГАХОВА, студентка УЮА, Харків

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТИЖДЕНЬ ЄС 2014 В НТУ «ХПІ»

У статті приведені результати подовження досліджень розвитку комплексних інноваційних проєктів, що проводяться у якості міжвузівської співпраці. Розглянуті особливості основних проєктів-учасників енергетичної тижня ЄС з метою впровадження сучасної інноваційної моделі освіти. Актуальним для розвитку є її практична реалізація, яка можлива лише при високому рівні сформованості професійної компетентності професорсько-викладацького складу, спрямованої на створення умов для ефективного відтворення наукових і науково-педагогічних кадрів та закріплення молоді у сфері науки, освіти і високих технологій, збереження наступності поколінь. Найбільш ефективними визнано напрямки з ресурсо- та енергозбереження, екологічної безпеки, соціально-економічних та соціально-правових відносин суспільства.

Ключові слова: комплексні інноваційні проєкти, енергетичний тиждень ЄС, ресурсо- та енергозбереження, екологічна безпека, соціально-економічні та соціально-правові відносини.

Вступ. В Національному політехнічному університеті «Харківський політехнічний інститут» отримала подальший розвиток концепція комплексного інноваційного проєктування (керівник Бухкало С.І.), яка народилася на кафедрі ректора ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. у 2009 році. Розвиток цієї концепції зв'язаний з участю НТУ «ХПІ» у енергетичному тижні ЄС 2014, що набуває подальшої актуальності – у 2014 році Україна під

© С.І. Бухкало, О.І. Ольховська, А.В. Серіков. 2014

писала угоду про асоціацію з ЄС: політичну частину угоди було підписано 21 березня 2014 року, економічну частину угоди було підписано 27 червня 2014 року. Вступ України в Болонський процес, спрямований на підвищення конкурентоспроможності нашої країни на світовому ринку освітніх послуг, обумовлює необхідність подальшої модернізації системи вищої професійної освіти. Слід відмітити, що постійно удосконалюються методи учбового навчання та проектування, набуває ширшого значення діяльність студентів, яка пов'язана з концепцією довгострокового соціально-економічного розвитку нашої країни.



Рис. 1. Основні учасники енергетичного тижня

Стосовно вищої школи у проекті позначена мета – впровадження сучасної інноваційної моделі освіти, яка актуалізує той факт, що її практична реалізація можлива лише при високому рівні сформованості професійної компетентності професорсько-викладацького складу, спрямованої на створення умов для ефективного відтворення наукових і науково-педагогічних кадрів та закріплення молоді у сфері науки, освіти і високі технологій, збереження наступності поколінь.

У сучасних умовах все більшої значущості набуває необхідність розвитку системи підготовки викладачів вищої школи, під яким розуміється процес, спрямований на реалізацію нових методологічних підходів,

концептуальних ідей, відповідно до актуальних і перспективними запитамі країни, суспільства, вузів, самих викладачів. До розробки залучали студентів 1–5 курсів з метою розвинення у них елементів наукової і технічної творчості з актуальних питань сьогодення: ресурсо- та енергозбереження, екологічна безпека навколишнього середовища, соціально-економічне та соціально-правове забезпечення.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Розробки проводяться під керівництвом викладачів, постійно модернізуються і використовуються в навчальному процесі вже п'ять років [1–9]. Представляється можливим продовжити виділення основних складових елементів методів інноваційного проектування, підвести певні підсумки за 2014 рік у порівнянні з 2013 роком, а також сформулювати основні рекомендації з його застосування. Як показала практика проведення інноваційних змін у навчанні студентів вищих навчальних закладів, різні рівні підготовки для переходу на Болонські вимоги у країнах ЄС привели до визнання необхідності забезпечення порівняння навчальних програм на базі автономії ВНЗ і різноманіття підходів до процесу навчання. Утворено загальні рекомендовані правила навчання студентів ВНЗ, що забезпечує взаємозв'язок між різними системами кваліфікації та їх рівнями для загального вищого та професійного навчання. Такі правила у майбутньому дозволяють досягнути для кожного випускника ВНЗ основної мети – сприяння подальшому навчанню, тобто покращити можливість працевлаштування, підвищити мобільність та соціальну інтеграцію робочої сили та учнів різних рівнів [10–12].

Матеріали та результати досліджень. Енергетична й екологічна ситуація в Україні в останні 20 років є критичною. Глобальна мета проекту – виробляти позицію суспільства і держави щодо зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище. Оточення проекту: Закон України про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України. З цією метою Україна повинна здійснювати на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього

середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, обумовленого забруднення навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів. Цей закон має визначати правові, економічні та соціальні основи організації охорони навколишнього природного середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь.

Закон України про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення регулює суспільні відносини, які виникають у сфері забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя, визначає відповідні права і обов'язки державних органів, підприємств, установ, організацій та громадян, встановлює порядок організації державної санітарно-епідеміологічної служби і здійснення державного санітарно-епідеміологічного нагляду в Україні.

На жаль, як можна визначити з реальних умов стану питання екологічної безпеки, прийняті закони не працюють на рівні державної влади в регіонах, а громадськість не підготовлена до їх реалізації.

Тому ми розробили і впровадили освітній проект, що ставить перед собою наступні завдання: 1. Навчити студентів науково-обґрунтованим методам ресурсо-та енергозбереження з метою забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя. 2. Залучити до вирішення екологічних, технологічних, економічних, організаційних та кадрових проблем України наукові та громадські студентські організації в процесі навчання у ВНЗ, що дозволить їм підготувати надалі громадськість України до організованого збору різних видів відходів. 3. Підібрати та розробити найбільш відповідні для даного регіону (Харківської області) методи охорони навколишнього середовища спільно зі студентами та фахівцями. 4. Спільно зі студентами розглянути питання можливості переробки полімерних відходів різного походження в Харківській області. 5. Сприяти подальшому впровадженню отриманих розробок та їх використання на практиці за допомогою студентських комплексних інноваційних проєктів. 6. Розробити техніко-економічне обґрунтування обраних методів і рекомендацій щодо їх впровадження в життя. 7. Інформувати населення про можливості науково-обґрунтованих методів ресурсо-та енергозбереження.

Етапи проекту та їх результати можна визначити як комплексні заходи нової методології навчання. Під час роботи зі студентами НТУ «ХП» та інших ВНЗ м. Харкова були зроблені наступні кроки:

1. На першому етапі

- обрані напрямки комплексних інноваційних проектів в галузі енергоефективності та енергозбереження з метою вивчення можливості переробки полімерних відходів різного походження та охорони навколишнього середовища;

- з метою подальшого науково-практичного обґрунтування було проведено огляд літературних даних за темою;

- класифіковані види і методи переробки великотоннажних відходів з урахуванням прикладів утилізації відходів поліетилену;

- встановлено необхідність дослідження основних структурно-хімічних змін поліетилену при окисненні;

- розроблені методи вивчення фізико-хімічних властивостей в процесі експлуатації виробів з поліетилену;

- виявлені закономірності зміни експлуатаційних характеристик поліетилену;

- запропоновані і впроваджені методи модифікації фізико-механічних і механічних властивостей вторинного поліетилену отриманого з поліетиленових відходів різного терміну експлуатації.

2. На другому етапі

- вивчалися можливості переробки поліолефінових відходів, які забруднюють навколишнє середовище; з цією метою було проведено огляд літературних даних за темою;

- класифіковані види і методи переробки цих відходів, а також встановлено основні закономірності і можливості хімічних змін при окисненні в процесі експлуатації;

- розроблені методи вивчення фізико-хімічних властивостей в процесі експлуатації виробів з поліолефінів;

- виявлені закономірності зміни експлуатаційних характеристик поліолефінів;

- запропоновані і впроваджені методи модифікації фізико-механічних і механічних властивостей вторинних поліолефінів, отриманих з відходів різного терміну експлуатації;

- розглянуто можливості забезпечення якості виробів із вторинних полімерних матеріалів залежно від кратності їх переробки.

Вивчено закони України про відходи, довкілля і про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення. Виявлено, що закон України про відходи повинен встановлювати правові, організаційні та економічні основи цієї сфери діяльності в державі. Така розробка пов'язана з попередженням або скороченням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, ідентифікацією, обробкою, утилізацією або переробкою, захороненням; запобіганням негативного впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини на території України, ЄС і всього Земної простору в цілому.

3. На третьому етапі проекту

- встановлено, що з вивчених методів використання полімерних відходів, найбільш перспективним з точки зору ресурсозбереження є напрямок отримання та переробки вторинних полімерів.

- ці напрямки дозволять розширити сировинну базу для виробництва виробів і підвищити економічну ефективність використання сировини.

Дослідження проводилися на основі вивчення властивостей відходів різного походження, їх складу та можливості організованого збору.

На цьому етапі спільно зі студентами розробляються комплексні інноваційні проекти. У них розглядається питання вибору методів спрямованої модифікації для поліпшення якості вторинної полімерної сировини за допомогою методів математичного моделювання, а також супутні економічні, екологічні, соціальні, інформаційні та управлінські питання. При проведенні енергетичного тижня ЄС основними темами можна назвати актуальні напрямки з ресурсо- та енергозбереження з урахуванням супутніх вищевикладених питань:

1) обговорення законів України про відходи, охорону навколишнього середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення;

2) механізми інвестицій, фінансування та передачі технологій в області ресурсо- та енергозбереження;

3) обговорення розвитку, пов'язаного з запобіганням або зменшен

ням утворення відходів, їх збиранням, транспортуванням, зберіганням, обробкою, утилізацією та захороненням;

4) запобігання негативного впливу відходів на навколишнє середовище та здоров'я людини на території України, ЄС і усьому просторі Землі в цілому;

5) отримання необхідних відомостей про інтелектуальну власність в енергетичному секторі та ін.

Основні теми доповідей присвячені інноваційним науковим напрямкам НТУ «ХП»:

1) Вибір напрямлення інноваційних технологій з урахуванням особливостей роботи базового об'єкта и видів вторинних енергетичних ресурсів міксу.

2) Особливості наукового обґрунтування моделювання процесів технології отримання вторинного спіненого поліетилену з полімерних відходів.

3) Особливості розвитку основних напрямків технології водневої енергетики у якості складової комплексних проектів.

4) Вибір ефективних методів управління комплексними проектами ресурсо- та енергозбереження.

5) Методологічні та методичні основи розвитку управління комплексними проектами.

6) Аналіз можливих правових та соціальних відношень для учасників комплексних проектів нового типу у промисловості.

7) Розробка показового алгоритму для графічної інтерпретації результатів розрахунків експерименту та вибір напрямків оптимізації інноваційних процесів.

8) Вибір моделей стимулювання персоналу комплексних інноваційних проектів.

9) Вибір критеріїв оцінювання комплексних інноваційних проектів з метою розвитку механізмів інвестування.

10) Аналіз можливостей забезпечення юридично-правової основи комплексних інноваційних проектів.

Підготовка доповіді до захисту проекту, що супроводжує доповідь слайд-фільму, публікації в працях НТУ «ХП», також є елементами ме

тодичної роботи з наближення результатів навчального проектування до реальної ситуації розробки й подання оригінального проекту. У цілому застосування розробленого для студентів ігрового проектування у вигляді комплексних інноваційних проектів як методу навчання показало, що на рівні виконання навчального проекту формуються навички, які сприяють актуалізації основних теоретичних знань і наближають студентів до необхідної за стандартом спеціальності кваліфікації. Накопичений науковий досвід в області різного виду технологій, властивостей матеріалів і багатьох інших пріоритетних областей розвитку інженерії в цей час є достатньою основою для подальшого їх творчого науково-технічного розвитку:

1. Вибір напрямків інноваційних технологій з урахуванням особливостей роботи базового об'єкта і виду вторинних енергетичних ресурсів або енергетичного міксу з різновидами природнього газу.

2. Особливості моделювання процесів переробки та технології отримання вторинного спіненого поліетилену з полімерних відходів різного терміну й умов експлуатації.

3. Особливості та можливості технології водневої енергетики в якості складової комплексних проектів.

4. Вибір ефективних методів управління комплексними проектами ресурсо- та енергозбереження.

5. Аналіз екологічних, правових і соціальних відносин в комплексних інноваційних проектах нового типу.

6. Методологічні та методичні засади управління комплексними інноваційними проектами.

7. Вибір критеріїв оцінювання інвестицій, юридично-правових відносин та фінансових показників інноваційних комплексних проектів.

8. Вибір моделей стимулювання персоналу інноваційних комплексних проектів.

9. Різновиди процесів ресурсо- та енергозбереження у технології етилового спирту.

10. Розробка алгоритму для графічної інтерпретації результатів розрахунку експерименту та ін.

Таблиця 1. Порівняльні показники оцінювання ефективності системи підготовки викладачів та студентів

Критерії	Показники	Середній бал		Динаміка
		2013	2014	
1	Направленість професійної підготовки на формування у учасників стійких мотивів вибору діяльності	56	61	+5
	Орієнтованість професійної підготовки на формування інноваційного напрямку	48	54	+6
	Спрямованість професійної підготовки на формування розуміння специфіки функціонування професійної діяльності в умовах розвинутої інфраструктури підприємства та провідних компетенцій сучасного спеціаліста галузі	44	46	+2
2	Адекватність змісту підготовки до інноваційних завдань, що виконуються в процесі підготовки проекту	50	52	+2
	Організація професійно-особистісного розвитку через залучення в різні види професійно-інноваційної діяльності, при реалізації взаємодії з освітнім середовищем	57	62	+5
	Функціонування підсистеми підготовки, як експериментального майданчика з апробації сучасних технологій, засобів навчання та виховання	56	60	+4
3	Сформованість професійно-значущих якостей, що дозволяють успішно здійснювати інноваційну діяльність	63	68	+5
	Готовність до постійного освоєння та реалізації інноваційних технологій навчання і виховання	65	68	+2
	Сформованість професійної компетентності, мобільності, здатності до безперервного професійно-особистісного розвитку, що дозволяє здійснювати широкий спектр інноваційних послуг	68	75	+7

Сьогодні проведення енергетичного тижня координується Виконавчим агентством з конкурентоспроможності та інновацій, у тісній співпраці з директором Європейської комісії з енергетики.

Проведення енергетичного тижня в НТУ «ХП» призначене для поширення передової практики навчання, натхнення на нові ідеї і створення організацій різного рівня з метою надання допомоги з задоволення енергетичних потреб ЄС (таблиця 1, де 1 – мотиваційний, 2 – змістовний, 3 – результативний). Порівняльні показники оцінювання (100 балів) ефективності системи підготовки викладачів та студентів мають позитивну динаміку.

Висновки. Енергетичний День визначається як неприбуткова подія, заходи, проекту, виставки або презентації різного рівня, які сприяють також підвищенню енергоефективності поновлюваних джерел енергії. Такі заходи, як виставки, конференції, онлайн-заходів, екскурсії, дні відкритих дверей, семінари, кампанії в ЗМІ та конференції – всі мають право голосу у представленні інноваційних проектів.

Охоплення населення і встановлення контактів на місцевому рівні є відмінним способом, щоб мобілізувати та залучати громадян й місцевих зацікавлених сторін до сталої енергетичної політики. Підписавшись до Пакту мерів, місцеві органи влади зобов'язані скоротити викиди CO₂, принаймні 20 % всієї їх території; а також вони зобов'язані приймати активну участь у організації місцевого Енергетичного Дня раз на рік, залучати громадян та місцеві зацікавлені сторони до вирішенні цього завдання.

Результати кращих інноваційних проектів опубліковані у вигляді наукових статей та тезисів докладів на конференціях.

Список літератури: 1. *Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І.* Діяльність вищого навчального закладу по підвищенню якості підготовки фахівців / *Л.Л. Товажнянський, С.І. Бухкало* // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 3 – 12. 2. *Бухкало С.І.* Применение математического моделирования для комплексных предприятий по переработке отходов / *С.І. Бухкало, С.Е. Гардер, О.Ю. Химич и др.* // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 73 – 78. 3. *Бухкало С.І., Сериков А.В., Ольховская О.І. и др.* Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов / *С.І. Бухкало, А. В. Сериков, О.І. Ольховская и др.* // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 160 – 166. 4. *Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І.* Можливості упровадження системи компетенцій у сучасних навчальних закладах // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 3 – 12. 5. *Бухкало С.І., Зипунников Н.Н., Бындыч О.А.* Возможности водородной энергетики в инновационных комплексных предприятиях // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 46 – 53. 6. *Бухкало С.І., Гардер С.Е., Ольховская О.І. и др.* Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов

// Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2012. – № 10. – с. 72 – 80. **7.** Бухкало С.И. Анализ эколого-правовой базы комплексной утилизации отходов полимеров / С.И. Бухкало, Н.Н. Зипунников, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2011. – № 21. – с. 140 – 145. **8.** Бухкало С.И. Комплексні інноваційні проекти як фактори забезпечення технічної творчості студентів / Бухкало С.И. // XII міжнародна школа-семинар «Сучасні педагогічні технології в освіті». НТУ «ХПІ», – Х, 12–14 лютого 2014. **9.** Бухкало С.И. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів / С.И. Бухкало // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2014. – № 16. – с. 3 – 11. **10.** Олейникова О.Н. Национальная система квалификаций. Обеспечение спроса и предложения квалификаций на рынке труда / О.Н. Олейникова, А.А. Муравьева, М. Коулз. – М.: РИО ТК им. А.Н. Коняева. 2009. – 115 с. **11.** Болонский процесс в России – 2008. <http://www.twirpx.com/file/59823>. **12.** http://www.hrk.de/de/projekte_und_initiaven/121_4647.php. **13.** Бухкало С.И. Особенности исследования полимерных отходов / Бухкало С.И. // XXII Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2014) 21–23 травня 2014. Харків, Ч. III. С. 10.

Bibliography (transliterated): **1.** Tovazhnjans'kij L.L., Buhkalo S.I. Dijal'nist' vishhogo navchal'nogo zakladu po pidvishhennju jakosti pidgotovki fahivciv. Visnik NTU – KhPI. – Kharkov. NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – p. 3 – 12. **2.** Buhkalo S.I. Primenenie matematicheskogo modelirovanija dlja kompleksnyh predpriyatij po pererabotke othodov / S.I. Buhkalo, S.E. Garder, O.Ju. Himich i dr. Visnik NTU – KhPI. – Kharkov. NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – P. 73 – 78. **3.** Buhkalo S.I., Serikov A.V., Ol'hovskaja O.I. i dr. Ob utilizacii polimernyh othodov kak komplekse innovacionnyh proektov. Visnik NTU – KhPI. – Kharkiv. NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – P. 160 – 166. **4.** Tovazhnjans'kij L.L., Buhkalo S.I. Mozhlivosti uprovadzhennja sistemi kompetencij u suchasnih navchal'nih zakladah. Visnik NTU – KhPI. – Kharkov. NTU «KhPI». 2011. – No. 21. – p. 3 – 12. **5.** Buhkalo S.I., Zipunnikov N.N., Byndych O.A.. Vozmozhnosti vodorodnoj jenergitiki v innovacionnyh kompleksnyh predpriyatijah. Visnik NTU – KhPI. – Kharkiv. NTU «KhPI». 2011. – No. 21. – P. 46–53. **6.** Buhkalo S.I., Garder S.E., Ol'hovskaja O.I. i dr. Regulirovanie jeffektivnosti resurso- i jenergosberezhenija na kompleksnyh predpriyatijah po pererabotke othodov. Visnik NTU – KhPI. – Kharkov. NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – p. 72 – 80. **7.** Buhkalo S.I. Analiz jekologo-pravovoj bazy kompleksnoj utilizacii othodov polimerov / S.I. Buhkalo, N.N. Zipunnikov, O.I. Ol'hovskaja i dr. Visnik NTU – KhPI. – Kharkov. NTU «KhPI». 2011. – No. 21. – p. 140 – 145. **8.** Buhkalo S.I. Kompleksni innovacijni proekti jak faktori zabezpechennja tehnicnoï tvorčosti studentiv. XII mizhnarodna shkola-seminar «Suchasni pedagogichni tehnologii v osviti». NTU «KhPI», – Kharkov, 12–14 ljutogo 2014. **9.** Buhkalo S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU – KhPI. – Kharkov. NTU «KhPI». 2014. – No. 16. – p. 3–11. **10.** Olejnikova O.N. Nacional'naja sistema kvalifikacij. Obespečenje sprosa i predloženija kvalifikacij na rynke truda / O.N. Olejnikova, A.A. Murav'eva, M. Koulz. – Moscow. RIO TK im. A.N. Konjaeva. 2009. – 115 p. **11.** Bolonskij process v Rossii – 2008. <http://www.twirpx.com/file/59823>. **12.** http://www.hrk.de/de/projekte_und_initiaven/121_4647.php. **13.** Buhkalo S.I. Osobennosti issledovanija polimernyh othodov. XXII Mizhn. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2014) 21–23 travnja 2014. Kharkov, C. III. P. 10.

Надійшла (received) 28.06.14

В.М. МИХАЙЛОВ, д-р техн. наук, проф. ХДУХТ, Харків;

І.В. БАБКІНА, канд. техн. наук, проф. ХДУХТ, Харків;

С.В. МИХАЙЛОВА, канд. техн. наук, ст. викл., ХДУХТ, Харків;

А.О. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, ст. викл., ХДУХТ, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЗА УМОВ ЇЇ ОБРОБКИ В НВЧ-ПОЛІ З ВАКУУМУВАННЯМ

У статті наведено результати досліджень показників екстрактивності, набрякання та хімічного складу харчової продукції з коренів та зелених пряних овочів, отриманих під час обробки в НВЧ-полі за умов вакуумування та одночасного перемішування, а також за атмосферних умов. Було доведено найбільш високу якість порошкових коренів і зелених пряних овочів, отриманих з мікрохвильовою сушки, вакуумування 50 кПа і одночасного перемішування. Дослідження показали, що максимальна частка водорозчинних твердих речовин перевищує 23...26%. Набряк співвідношення перевищує на 6,5...9,4%. Дослідження показали, що хімічний склад має високий ступень збереження фізико-хімічних властивостей сировини, зменшуючи процес скорочення тривалості та температури.

Ключові слова: якість, харчова продукція, НВЧ-поле, вакуумування, перемішування, хімічний склад, екстрактивність, набрякання.

Постановка проблеми. Важливим напрямом підвищення ефективності функціонування підприємств харчової промисловості, закладів ресторанного господарства є впровадження новітніх енерго- та ресурсозберігаючих процесів, що забезпечують високу якість готової продукції. До найбільш енерговитратних процесів належить тепло-масообмінна обробка харчової сировини (нагрівання, концентрування, сушіння), яка, до того ж, супроводжується втратами ресурсного потенціалу продукту внаслідок зміни фізико-хімічних властивостей і, відповідно, зниження харчової та біологічної цінності. У першу чергу це стосується термолабільної сировини, наприклад, пряних овочів, які є джерелом цінних речовин, оскільки відповідні зміни супроводжуються додатковими втратами ароматичних та смакових властивостей, що не дозволяє під час виробництва харчової продукції повною мірою використати природний потенціал цієї сировини, зокрема смаковий і ароматичний компонент. Застосуванням раціональних методів тепло-масообмінної обробки рослинної сировини,

удосконаленням режимних параметрів можна впливати на збереження її харчового та біологічного потенціалу під час виробництва готової до споживання продукції. До таких методів можна віднести обробку в НВЧ-полі за умов вакуумування та перемішування.

Мета роботи. Основною метою досліджень, наведених в межах даної статті, є визначення показників якості харчової продукції на основі рослинної сировини за умов її обробки в НВЧ-полі з вакуумуванням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Цінною рослинною сировиною, що вирощується в Україні, є пряні овочі, зокрема петрушка, пастернак, селера та кріп. Вони характеризуються пряним ароматом та в основному використовуються в якості приправ до їжі. Крім того вони є джерелом вітамінів, мінеральних солей, харчових волокон, органічних кислот, ефірних олій тощо [1–4]. Так, петрушка, зелень кропу, пастернак та селера містять у своєму складі цукристі, азотовмісні, мінеральні речовини. Слід також відмітити антиоксидантні й антиканцерогенні властивості петрушки, та порівняно високу енергетичну цінність пастернаку [5]. Наведена вище харчова продукція характеризується низкою основних показників (екстрактивністю, набряканням та хімічним складом), дослідження яких дозволить встановити доцільність використання комбінованої НВЧ-обробки з вакуумуванням та перемішуванням.

Результати досліджень. Екстрактивність порошку, отриманого шляхом НВЧ-сушіння за умов вакуумування та перемішування із сумішей коренів та зелені прямих овочів, визначали за масовою часткою розчинних сухих речовин залежно від температури за постійної тривалості вистоювання. Порівняння результатів здійснювали з порошком, отриманим шляхом НВЧ-сушіння за атмосферних умов (табл. 1). З отриманих даних виходить, що масова частка розчинних сухих речовин у порошках збільшується за підвищення температури екстрагування та для обох досліджуваних видів сумішей відрізняється несуттєво. В той же час слід зазначити, що при НВЧ-обробці за умов вакуумування досліджуваний показник *вище* для суміші подрібнених коренів на 19...40%, а для суміші подрібненої зелені – на 23...33%. Максимальна частка розчинних сухих речовин, отриманих за температури екстрагування 90°C, складає 5,8%,

що перебільшує на 23...26% показник, що отримано для НВЧ-сушіння за атмосферних умов.

Таблиця 1. Масова частка розчинних сухих речовин в порошках під час НВЧ-сушіння, %

Температура t , °С	Тиск p , кПа	
	100 (контроль)	50
суміші подрібнених коренів пряних овочів		
30	1,5±0,1	2,1±0,1
50	2,3±0,1	3,2±0,2
70	3,7±0,2	4,4±0,2
90	4,6±0,2	5,8±0,3
суміші подрібненої зелені пряних овочів		
30	1,2±0,1	1,6±0,1
50	2,4±0,1	3,0±0,2
70	3,5±0,2	4,4±0,2
90	4,7±0,2	5,8±0,3

З метою оцінювання ступеня відновлюваності отриманої сушеної продукції під час розмочування проведені дослідження, спрямовані на визначення коефіцієнта набрякання, що дає можливість оцінити у скільки разів сушена продукція здатна збільшити свою масу за рахунок поглинання води (табл. 2).

Таблиця 2. Коефіцієнт набухання порошків, отриманих шляхом НВЧ-сушіння

Температура витримування, °С	Порошки подрібнених сумішей			
	коренів пряних овочів		зелені пряні овочів	
	$p=100$ кПа (контроль)	$p=50$ кПа	$p=100$ кПа (контроль)	$p=50$ кПа
30	4,0±0,2	4,6±0,2	4,7±0,2	5,3±0,3
60	4,2±0,2	4,8±0,2	5,0±0,3	5,6±0,3
90	4,3±0,2	4,9±0,2	5,1±0,3	5,8±0,3

Дослідження проводились за різних значень температури та фіксованих значеннях тривалості витримування – 30, 60, 90 хв. Відповідно до отриманих результатів, помітної різниці залежно від тривалості витримування в часовому діапазоні 30...90 хв. не встановлено, тому в табл. 2 наведено середньостатистичні дані. У той же час відмічено, що з підвищенням температури витримування в межах від 30 до 90°С для двох досліджуваних зразків коефіцієнт набрякання збільшується в середньому на 6,5...9,4%.

Загалом, при способі НВЧ-сушіння за атмосферних умов для порошку з суміші подрібнених коренів пряних овочів коефіцієнт набрякання дорівнює 4,0...4,3, а під час використання НВЧ-сушіння за умов вакуумування та перемішування – 4,6...4,9. Для порошку з суміші подрібненої зелені пряних овочів результати, відповідно, є такими – 4,7...5,1 та 5,3...5,8. На підставі цих даних можна стверджувати, що у разі використання запропонованого в роботі способу НВЧ-сушіння за умов вакуумування та перемішування, порівняно з традиційним способом НВЧ-сушіння відзначається збільшенням коефіцієнту набрякання для порошку з суміші подрібнених коренів пряних овочів на 14...15%, а для порошку з суміші подрібненої зелені пряних овочів – на 12...14%, або в середньому за обох випадків – на 12...15%. Ці результати вказують на те, що внаслідок зниження температурного режиму сушіння в умовах вакуумування та перемішування, а також скорочення тривалості процесу відбувається менший ступень денатураційних змін білкової частини зразків та, відповідно, пов'язаних з цим втрат гідрофільності.

Під час проведення процесів тепло-масообмінної обробки харчових продуктів особливої уваги заслуговує задача отримання уявлення про хімічний склад зразків двох видів досліджуваних сумішей – подрібнених коренів пряних овочів та подрібненої зелені пряних овочів (табл. 3).

Таблиця 3. Хімічний склад сировини

Показники	Суміш подрібнених коренів пряних овочів	Суміш подрібненої зелені пряних овочів
Загальна волога, %	85,0	86,0
Азотовмісні компоненти, %	2,0	4,3
Вітамін С, мг%	21	120
Каротин	0,02	2,10
В ₁	0,06	0,09
В ₂	0,08	0,07
РР	0,75	0,57

Визначено, що за практично однакового значення вмісту води 85...86 % для двох видів досліджуваних сумішей, за показниками хімічного складу суміш подрібненої зелені перевищує суміш подрібнених коренів. Так, вміст азотовмісних компонентів у суміші подрібненої зелені пряних овочів складає 4,3 %, що в 2,2 рази перевищує їх вміст у суміші подрібнених коренів пряних овочів. Суттєвою також є різниця за вмістом вітаміну С

(у суміші подрібненої зелені у 5,7 рази більше і складає 120 мг %), а також каротину (2,1 мг % по відношенню до 0,02 мг %). Вміст інших вітамінів різниться несуттєво і знаходиться в межах: В₁–0,06...0,09 мг%, В₂–0,07...0,08 мг%, РР – 0,57...0,75 мг%. Наступним етапом цих досліджень є визначення хімічного складу пастоподібного (табл. 4) та порошкоподібного (табл. 5) продуктів, отриманих шляхом НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння за умов вакуумування та перемішування (дослід) порівняно з тими, що отримані за звичайних умов НВЧ-нагрівання (контроль).

Таблиця 4. Хімічний склад пастоподібного продукту

Показники	Суміш подрібнених коренів пряних овочів		Суміш подрібненої зелені пряних овочів	
	контроль	дослід	контроль	дослід
Загальна волога, %	50,0	50,0	50,0	50,0
Азотовмісні компоненти, %	4,4	6,3	10,0	13,6
Вітамін С, мг%	39	66	198	380
Каротин, мг%	0,04	0,07	4,0	6,60
В ₁ , мг%	0,11	0,19	0,17	0,28
В ₂ , мг%	0,15	0,25	0,11	0,21
РР, мг%	1,40	2,42	1,0	1,80

Таблиця 5. Хімічний склад порошкоподібного продукту

Показники	Суміш подрібнених коренів пряних овочів		Суміш подрібненої зелені пряних овочів	
	контроль	дослід	контроль	дослід
Загальна волога, %	10,0	10,0	10,0	10,0
Азотовмісні компоненти, %	6,2	10,1	14,0	21,8
Вітамін С, мг%	55	106	277	608
Каротин, мг%	0,06	0,11	5,6	10,1
В ₁ , мг%	0,15	0,29	0,24	0,45
В ₂ , мг%	0,21	0,40	0,16	0,34
РР, мг%	1,96	3,80	1,40	2,52

Цими результатами доведено, що НВЧ-нагрівання за умов вакуумування та перемішування сприяє значно більшому збереженню фізико-хімічних властивостей вихідної сировини. Так, вміст азотовмісних компонентів (у відносних величинах) у пастоподібного продукту більше на 36...43%, а у порошкоподібного – на 56...63%. Вміст вітамінів також є більшим, відповідно: вітаміну С – на 69...92 та 93...120%; каротину – на 65...75 та 80...83%; вітамінів В₁– на 65...73 та 88...93%, В₂– на 67...91 та 90...125%, РР– на 73...80 та 80...94%. Тобто, у середньому

вміст вітамінів більший у пастоподібного продукту на 65...92%, а у порошкоподібного продукту – на 80...125%. Безумовно, що менші пошкодження азотовмісних компонентів та втрати вітамінного складу пояснюються помірною тепловою обробкою, яка відбувається за умов вакуумування при низькотемпературному режимі та скороченій тривалості.

Висновки. Таким чином, проведеними дослідженнями доведено більш високі показники якості порошків з коренів та зелені пряних овочів, отриманих шляхом НВЧ-сушіння за умов вакуумування 50 кПа та одночасного перемішування, порівняно з НВЧ-сушінням за атмосферних умов. Дослідженнями екстрактивності визначено, що максимальна частка водорозчинних сухих речовин (у тому числі ароматичних, смакових) перебільшує на 23...26% і складає 5,8%. Коефіцієнт набрякання перебільшує на 6,5...9,4% та складає для порошку з суміші подрібнених коренів пряних овочів – 4,6...4,9, а з суміші подрібненої зелені пряних овочів – 5,3...5,8, що вказує на менший ступінь денатураційних змін білкової частини зразків та, відповідно, пов'язаної з цим втрати гідрофільності.

Дослідженнями хімічного складу доведено більш високий ступінь збереження фізико-хімічних властивостей вихідної сировини за рахунок скорочення тривалості та зниження температури процесу: вміст азотовмісних компонентів (у відносних величинах) у пастоподібного продукту більше на 36...43%, а у порошкоподібного – на 56...63%, вміст вітамінів – на 65...92% та 80...125%.

Список літератури: 1. *Льовшина Л.Д.* Товарознавство плодоовочевих товарів, пряно-ароматичних рослин та прянощів : навч. посібник / *Л.Д. Льовшина, В.М. Михайлов, О.В. М'ячиков.* – К. : Ліра. 2010. – 388 с. 2. *Пряно-ароматические растения / М.А. Кудинов, Л.В. Кухарева та ін.* – Мн.: Ураджай, 1986. – 160с. 3. *Дудченко Л.Г.* Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения / *Л.Г. Дудченко, А.С. Козьяков, В.В. Кривенко.* – К. : Наукова думка, 1980. – 304 с. 4. *Товароведение и переработка лекарственно-технического растительного сырья в БАД / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарская и др.* – Х. – К. : ХГУПТ, 2003. – 306 с. 5. *Левандовская Л.И.* Сельдерей, петрушка, пастернак / *Л.И. Левандовская, Р.А. Комарова* – К. : Колос. 1968. – 61 с.

Bibliography (transliterated): 1. *L'ovshina L.D.* Товарознавство плодоовочевих товарів, пряноароматичних рослин та прянощів : навч. посібник / *L.D. L'ovshina, V.M. Mihajlov, O.V. M'jachikov.* – Kyev. : Lira. 2010. – 388 p. 2. *Prjano-aromaticheskie rastenija / M.A. Kudinov, L.V. Kuhareva та in .* – Minsk: Uradzhaj, 1986. – 160 p. 3. *Dudchenko L.G.* Prjano-aromaticheskie i prjano-vkusovoye rastenija. – Kyev: Naukova dumka, 1980. – 304 p. 4. *Tovarovedenie i pererabotka lekarstvenotekhnicheskogo rastitel'nogo syr'ja v BAD / R.Ju. Pavljuk, V.V. Pogarskaja i dr.* – Kharkov–Kyev. HGUPT, 2003. – 306 p. 5. *Levandovskaja L.I.* Sel'derej, petrushka, pasternak. – Kyev. : Kolos. 1968. – 61 p.

Надійшла (received) 05.09.14

БУХКАЛО С.І., канд. техн. наук, проф. НТУ «ХП»

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЯК СКЛАДОВА КОНЦЕПЦІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МІКСУ

У роботі розглянуті питання дослідження екологічної безпеки і хіміко-технологічних задач розробки науково-обґрунтованих інтегрованих процесів утилізації полімерних відходів різного походження та терміну експлуатації. Показані можливості вирішення цих задач із застосуванням методів математичного моделювання процесів і урахуванням зміни фізико-хімічних, молекулярних, хімічних і структурно-механічних характеристик полімерних матеріалів при експлуатації. Основна мета розробки – вибір екологічно безпечних енерго- і ресурсозберігаючих способів виробництва полімерної продукції нового асортименту з вторинної полімерної сировини, проектування ефективного обладнання для реалізації її випуску. При цьому вказані можливі напрямки утилізації полімерних відходів які не підлягають повторній переробці.

Ключові слова: екологічна безпека, утилізація, полімерні відходи, термін експлуатації, ідентифікація, критерії оцінювання, науково-обґрунтовані технологічні процеси

Вступ. Сучасність характеризується не тільки бурхливим розвитком науково-технічної думки і інтенсивного впровадження наукових розробок у повсякденне життя суспільства, а й наявністю супутніх процесів – виникнення все нових небезпек для життєдіяльності людини. Одним з таких нових факторів, безпосередньо пов'язаних з діяльністю людини є наявність великої кількості побутових відходів, значну частину яких складають полімерні відходи [1–3].

Токсичність полімерних матеріалів оцінюють шляхом порівняння з гранично припустимою концентрацією виділюваних токсичних речовин і елементів. Першорядне значення для такої оцінки має клас небезпеки, склад шкідливих речовин та їх кількісний вміст. У сучасній промисловості полімерні матеріали знаходять все більш широке застосування, що зв'язано з їх перевагами, наприклад, у якості полімерних будівельних матеріалів [1]:

- тривалі терміни експлуатації – до 20 років без зміни основних характеристик виробів;

© С.І. Бухкало. 2014

- відносно невисока вартість різноманітних процесів переробки у виробі;
- можливість створення матеріалів із заданими експлуатаційними та екологічними властивостями;
- простота та небезпека у виготовленні конструкцій, їх монтажу та експлуатації;
- забезпечення практично 100 % корозійної стійкості при експлуатації;
- можливість надання виробам необхідної міцності, еластичності і гнучкості;
- відповідність виробів вимогам нормативів та стандарту, а також параметрів естетичності та ін

Аналіз останніх досліджень та літератури. При оцінці екологічної безпеки, наприклад, полімерних будівельних матеріалів керуються такими основними вимогами до них: полімерні матеріали не повинні створювати в приміщенні стійкого специфічного запаху в період експлуатації; не виділяти в повітря летючі токсичні речовини в небезпечних для людини концентраціях; не стимулювати розвиток патогенної мікрофлори на своїй поверхні протягом усього терміну експлуатації; не мати впливу або не погіршувати мікроклімат приміщень; повинні бути доступними для вологої дезінфекції; напруженість поля статичної електрики на поверхні полімерних матеріалів не повинна бути більше 150 В/см^2 (при відносній вологості повітря в приміщенні 60–70 %) і ін.

Численні дослідження показали, що практично всі полімерні будівельні та оздоблювальні матеріали, в процесі використання можуть виділяти токсичні леткі компоненти, які при тривалій дії можуть несприятливо впливати на живі організми, в тому числі і на здоров'я людини. Розвиток більшості галузей промисловості, спрямований на підвищення матеріального рівня життя, одночасно призводить до появи певного виду техногенної небезпеки як для здоров'я людини, так і для навколишнього середовища [4–6]. Концептуальні засади екологічної політики нашої держави сформульовані в документі «Основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», затвердженому ще По-

становою Верховної Ради України від 5 березня 1998 р. У розробці Основних напрямків, до яких входить і утилізація полімерних відходів, виходили з того, що нинішня екологічна ситуація в Україні визначається як кризова. За описаними системними дослідженнями [7], кількісні оцінки пріоритетів механізмів екологічної безпеки України розподілилися таким чином: економічні механізми екологічної безпеки (0,321), державна система управління екологічною безпекою (0,273), промислова безпека та технологічні основи екологічно безпечного розвитку промисловості, енергетики і транспорту (0,237), нормативно-правова діяльність у сфері екологічної безпеки (0,142), наукові основи екологічної безпеки (0,113), громадські організації у сфері екологічної безпеки (0,006).

Мета дослідження, постановка проблеми. Основна мета концепції утилізації полімерних відходів з точки зору забезпечення екологічної безпеки – вибір екологічно безпечних енерго- і ресурсозберігаючих способів виробництва полімерної продукції нового асортименту з вторинної полімерної сировини, проектування ефективного обладнання для реалізації її випуску та інші питання комплексної переробки. При цьому необхідно враховувати розробку можливих напрямки утилізації полімерних відходів які не підлягають повторній переробці.

Ключовим у концептуалізації ідеї сталого розвитку утилізації полімерних відходів, а в її структурі – техногенно-екологічної безпеки, є уявлення про об'єкт концепції, який, по-перше, давав би змогу для коректної співпраці з ним відповідним науковим напрямкам, узгоджуючи їх методи та можливості, і, по-друге, створював би необхідні передумови для реалізації управління та сталого розвитку.

Матеріали досліджень. Концепція управління техногенно-екологічною безпекою у процесах утилізації полімерних відходів [8] зв'язана з необхідністю доповнення за змістом – одночасного паралельного застосування соціально-економічної безпеки і є органічним наслідком синтезу їх обох в єдиному управлінні на засадах підходу, що набув назву «змішаного» [9]. Конкретна реалізація «змішаного» підходу, яка може варіювати залежно від об'єкта управління, для еколого-економічної системи (ЕЕС) дає змогу об'єднати детермінованість рівня техногенно-екологічної безпеки траєкторією сталого розвитку з регулюванням його стохастичних коливань.

Сама ЕЕС має власну мету – постійне забезпечення максимального рівня певної позитивної якості. Такою якістю, на думку авторів, має бути категорія інтегрованої безпеки, котра в концепції сталого розвитку структурується на дві основні складові: соціально-економічну та техногенно-екологічну безпеку [10].

Деякі питання постановки проблеми інтегрованої безпеки вирішені на певному рівні у роботі Г. І. Рудька [11], яка базується на класичному системному підході – техногенно-природна геосистема визначена у вигляді цілісного системного утворення:

$$S = \{X, Q\},$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ множина елементів x_i системи S ;

Q – множина закономірностей змін елементів x_i , їх взаємодія між собою і з навколишнім середовищем, тобто вона уявляє собою сукупність залежностей, які зв'язують елементи x_i системи S [12].

Системно-динамічна концепція в парадигмі сталого розвитку виявляє себе у двох аспектах: 1) методологічний визначається сучасною синтетичною теорією еволюції [13]; траєкторія сталого розвитку формується відповідно до вибору оптимальних режимів діяльності множини технологічних систем та геоекосистем; 2) предметний виходить із розуміння системно-динамічної концепції як інструментарію, адекватного ідеям та завданням соціальної екології, яка визначає себе як відгалуження від загальної, біологічної екології з акцентом на оптимізацію взаємодії між категоріями (системами): «суспільство» – «людина» – «техніка» – «природне середовище» [14]. Для утилізації полімерних відходів, з нашої точки зору, необхідним стає формування комплексної моделі дослідження з урахуванням дії на навколишнє природне середовище (НПС), наданої у вигляді системного утворення:

«суспільство» – «людина» – «стан₀ системи НПС» – «технологічний процес» – «стан₁ системи НПС»

Розв'язання задач ґрунтується на визначенні вірогідності випадкових негативних подій, сумарного показника забруднення ґрунтів і стосується завдань охорони довкілля за концепцією техногенно-екологічної безпеки. Для досягнення основної мети необхідно вирішувати безліч завдань

як наукового напрямку, так і побутового, наприклад, для поліетиленової плівки сільськогосподарського призначення:

1) розробка способів маркування полімерних виробів на стадії їх виготовлення;

2) організація роздільного збору на регіональному рівні та розробка автоматизованих методів ідентифікації полімерних відходів;

3) виявлення залежності кінетики фотоокислення від терміну експлуатації і молекулярних властивостей вихідного полімеру, наприклад, поліетилену;

4) дослідження механізму утворення кисневмісних функціональних груп у процесі експлуатації виробів з поліетилену;

5) зміна експлуатаційних характеристик поліетилену з виявленням критеріїв контролю строку експлуатації виробів та кризових точок;

6) дослідження механізму утворення і структури гельфракції в процесі експлуатації поліетиленової плівки;

7) дослідження конкуруючих реакцій деструкції і структурування на різних стадіях експлуатації плівки;

8) вибір критеріїв оцінки полімерних відходів різного терміну і місця експлуатації;

9) визначення способу утилізації для важко- або непереробних полімерних відходів з метою отримання цільових низькомолекулярних продуктів;

10) вибір способу переробки вторинної полімерної сировини з урахуванням певних критеріальних характеристик оцінки властивостей відходів та розробленого асортименту продукції;

11) вибір науково-обґрунтованих напрямів утилізації полімерних відходів що не підлягають повторній переробці.

Відповідно до наданих результатів досліджень Я. О. Адаменко [15] розв'язання задач екологічної безпеки значно залежить від впровадження в практику науково-теоретично обґрунтованої процедури оцінки впливів техногенно-небезпечних об'єктів на навколишнє середовище.

Функцію корисності екологічної безпеки запропоновано встановлювати на основі критеріїв проектних рішень, які формуються за регіональними, місцевими (локальними) та нормативними показниками (або критеріями) заданої діяльності.

Функція екологічної безпеки базується на розрахунку окремих функцій корисності для кожної альтернативи та критеріями за формулою:

$$U_{екол}(A_n) = \sum U_{рег}(C_i^{рег}) + \sum U_{лок}(C_m^{лок}) + \sum U_{мер}(C_o^{мер}),$$

де $U_{екол}(A_n)$ – функція корисності екологічної безпеки n -ї альтернативи за критеріями проектних рішень щодо запропонованої діяльності;

$U_{рег}(C_i^{рег})$ – функція корисності за i -ми критеріями оптимізації проектних рішень на регіональному рівні;

$U_{лок}(C_m^{лок})$ – функція корисності за m -ми критеріями оптимізації проектних рішень на локальному рівні;

$U_{мер}(C_o^{мер})$ – функція корисності за o -ми критеріями містобудівельних, санітарних і екологічних обмежень в межах території впливу запропонованої проектом діяльності.

Кожна з означених функцій корисності розраховується згідно з критеріями нормування впливу на природне, соціальне і техногенне середовища і забезпечує необхідний рівень екологічної безпеки за концепцією сталого розвитку на основі соціально-економічної безпеки.

Оцінка існуючих хіміко-технологічних систем у процесах виробництва, експлуатації та утилізації полімерних матеріалів в рамках проблем забезпечення екологічної безпеки видається особливо важливою та актуальною. Мета роботи – підвищити ефективність і оперативність методів оцінки впливу на навколишнє середовище технологічних процесів виробництва, експлуатації та утилізації полімерних матеріалів, а також у рамках «концепції сталого розвитку утилізації ТПВ», забезпечити більш високий рівень екологічної безпеки цих процесів.

Для реалізації цих цілей необхідно було вирішити такі наукові та прикладні технічні завдання: провести оцінку стадій життєвого циклу полімерних матеріалів з точки зору визначення факторів забезпечення екологічної безпеки; провести аналіз існуючих показників і методів інтегральної оцінки якості полімерних матеріалів; встановити найбільш ефективні критерії та методики оцінки основних джерел «екологічної шкоди», виявлених в існуючих хіміко-технологічних процесах виробництва, експлуатації та утилізації полімерних матеріалів, і класифікувати

ці джерела для подальшого вибору найбільш ефективних шляхів їх усунення, знешкодження або мінімізації, використовуючи у якості модельної системи поліетиленову плівку, що має різні умови та терміни експлуатації. При вирішенні проблем, пов'язаних з цими факторами, отримані наукові результати, опубліковані в [16–23], вказують на можливості, що зумовлюють підвищення рівня екологічної безпеки технології утилізації полімерних матеріалів такими способами:

1) запропоновано оцінювати екологічну безпеку технологічних процесів виробництва, експлуатації та утилізації полімерних матеріалів з точки зору «концепції зміни кисне-вмісних та ненасичених груп, фізико-механічних та інших основних властивостей окремо для кожної групи полімерних матеріалів у процесах експлуатації»;

2) визначено, що для виділення факторів екологічної безпеки необхідно розглянути технологічний цикл процесів виробництва, експлуатації та утилізації полімерних матеріалів, використовуючи нові розроблені автором та існуючі методи інтегральної оцінки стану полімерних матеріалів, а також повітряного і водного середовищ.

З метою виконання вимог екологічної безпеки технології утилізації полімерних матеріалів може бути запропонований підхід компараторної ідентифікації екологічної якості складних систем [24, 25]. У роботі [25] реалізовано відповідно до розробленого алгоритму визначення рейтингу областей України за екологічністю їх стану (X_i). Аналіз здійснено в рамках дев'яти параметрів, кожен з яких визначає певний соціально-еколого-економічний стан: x_{i1} – приріст населення за останній рік (1 – номер у таблиці 1); x_{i2} – народжуваність (2); x_{i3} – кількість померлих віком до одного року (3); x_{i4} – середня заробітна плата (4); x_{i5} – кількість безробітних працездатного віку (5); x_{i6} – реалізована промислова продукція (6), млн. грн.; x_{i7} – викиди забруднюючих речовин (7), тис. тон; x_{i8} – утворено відходів, тис. тон (8); x_{i9} – утилізовано відходів (9), тис. тон. Вихідні дані наведено в таблиці 1 [24, 25], але деякі відомості (стовпчики 1 – 5) для утилізації полімерних матеріалів відсутні на даний час і потребують подальшої конкретної корекції.

Таблиця 1. Вхідні дані з оцінки стану регіонів України

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	max	max	max	max	max	max	min	min	max
Автономна Республіка Крим						16864	137,8	3709,1	321,9
Вінницька						16087,2	182,7	3132,6	855,6
Волинська						7255,7	50,4	733,8	56,3
Дніпропетровська						152557,7	1173,1	291188	94763,3
Донецька						152185,7	1714,7	56650,7	13187,8
Житомирська						11555,1	85,7	866,8	121,6
Закарпатська						6672,1	72,1	561,9	7,1
Запорізька						55192,1	316	6120,9	1686,6
Івано-Франківська						14870,8	249,1	1782,8	530,6
Київська						29863,1	308,1	3015,9	571,1
Кіровоградська						10429,6	73,8	40091,2	18639,5
Луганська						51432,7	529,5	16706,2	4998,5
Львівська						22000,8	253,9	3350,4	170,4
Миколаївська						15814,9	87,1	2475,1	116,1
Одеська						18065,2	169	1337,2	46,9
Полтавська						46050,8	178,9	6300,2	4481,9
Рівненська						10797,2	60,4	1281,4	168,3
Сумська						15969,5	80,1	1261,7	402
Тернопільська						5232,2	65	1001,2	203,7
Харківська						45742,0	319,4	2417,5	320,6
Херсонська						7899,8	73,6	485,6	74,6
Хмельницька						11871,7	79,7	1471,1	526,4
Черкаська						20903,7	146,4	1895,4	957,8
Чернівецька						2889,4	41,1	550,5	117,7
Чернігівська						10235,2	93,6	740,6	103,1

Надалі здійснюється вибір еталонних значень (табл. 2).

Таблиця 2 – Еталонні значення по кожному з параметрів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	max	max	max	max	max	max	min	min	max
Значення						152557,7	41,1	485,6	94763,3

Наступний крок – нормування даних, наведених в таблиці 1, відповідно до еталонних значень. На даному етапі дослідження можна зробити висновок, що потрібний більш широкий метод рейтингової оцінки екологічної безпеки при впровадженні нових технологій в технологічних процесах виробництва, експлуатації та утилізації полімерних

матеріалів. Запропонована методика з оцінки стану об'єктів утилізації полімерних відходів, що ґрунтується на методі компараторної ідентифікації, визначається новизною підходу стосовно використання принципу системності з оцінки «стан–відповідність–фактори порушення рівноваги–рейтинг першочергових рішень».

Для процесів утилізації полімерних відходів при виконанні інноваційних комплексних проектів необхідно враховувати усі полімерні компоненти твердих побутових відходів (ТПВ) у вигляді екологічних індикаторів навантаження «поводження з відходами», тис. тон/рік:

- кількість виробництва ТПВ (всього, на душу населення);
- полімерна частина промислових полімерних відходів, що підлягають сортуванню на термо- та реактопласти;
- полімерна частина комунальних ТПВ, що підлягають сортуванню на термо- та реактопласти;
- полімерна частина комунальних ТПВ, що підлягають повторному переробленню;
- полімерна частина комунальних ТПВ, що підлягають повторному використанню;
- полімерна частка комунальних ТПВ, що не підлягають перероблюванню і використуванню повторно та ін.

Для кожного з вищевказаних кроків екологічної ідентифікації та подальшої науково-обґрунтованої утилізації полімерних відходів можна навести технологічні процеси виконання вищевказаних пунктів у вигляді комплексу інноваційних проектів, а при наявності статистичних даних можна прогнозувати продуктивність таких підприємств. Але першим кроком у цій системі необхідно вимагати від комунальних підприємств різного рівня (державних, регіональних, селищних, міських та ін.) роздільного збору ТПВ відповідно стандартам ЄС. До екологічних індикаторів проектної діяльності відносять також показники – індикатори: 1) стану якості довкілля; 2) стану здоров'я населення; 3) навантаження забруднення навколишнього середовища; 4) навантаження ресурсоспоживання; 5) реагування екологічне управління; 6) реагування екологічна освіта і просвіта.

Аналіз ситуації, на жаль, на сьогоднішній день у віртуальній галузі утилізації різновидів відходів (таку галузь ще необхідно створити) показує потенційну можливість підвищення ефективності їхнього використання з погляду ресурсо- і енергозбереження шляхом створення виробничих комплексів (рис. 1).

Створення нових безвідхідних технологічних процесів і комплексів вигідніше, ніж модернізація існуючих виробництв із цією ж метою.

Таким чином, для пошуку оптимальних варіантів безвідхідних технологій можлива наступна послідовність дій:

- виявлення принципових недоліків існуючих технологій з обліком всіх розглянутих принципів, визначення вихідних потоків системи, які мають потребу в очищенні або мають продукти для утилізації;
- визначення основних причин, що перешкоджають модернізації існуючих виробництв із метою створення безвідхідних технологічних процесів і комплексів;
- розробка нових методів одержання цільового продукту або вдосконалювання одного з існуючих, задовольняючим принципам створення безвідхідних технологічних процесів і комплексів;
- розробка декількох варіантів безвідхідних технологій з обліком обраного нового методу;
- вибір пріоритетної технології з погляду основних економічних показників і мети – створення безвідхідних технологічних процесів і комплексів.

Більшість підприємств і комплексів промисловості є джерелами вторинних енергетичних ресурсів:

- 1) відходи виробництв, які можна віднести до категорії палива;
- 2) теплові викиди різного походження;
- 3) рідини й гази для скидання порівняно низької температури;
- 4) енергія надлишкового тиску й багато чого іншого.

Перший вид джерел вторинних енергетичних ресурсів практично повністю використовують самі підприємства, за винятком тих випадків, коли їхнє спалювання пов'язане з технічними труднощами різного плану. Четвертий вид – припускає наявність спеціального устаткування.

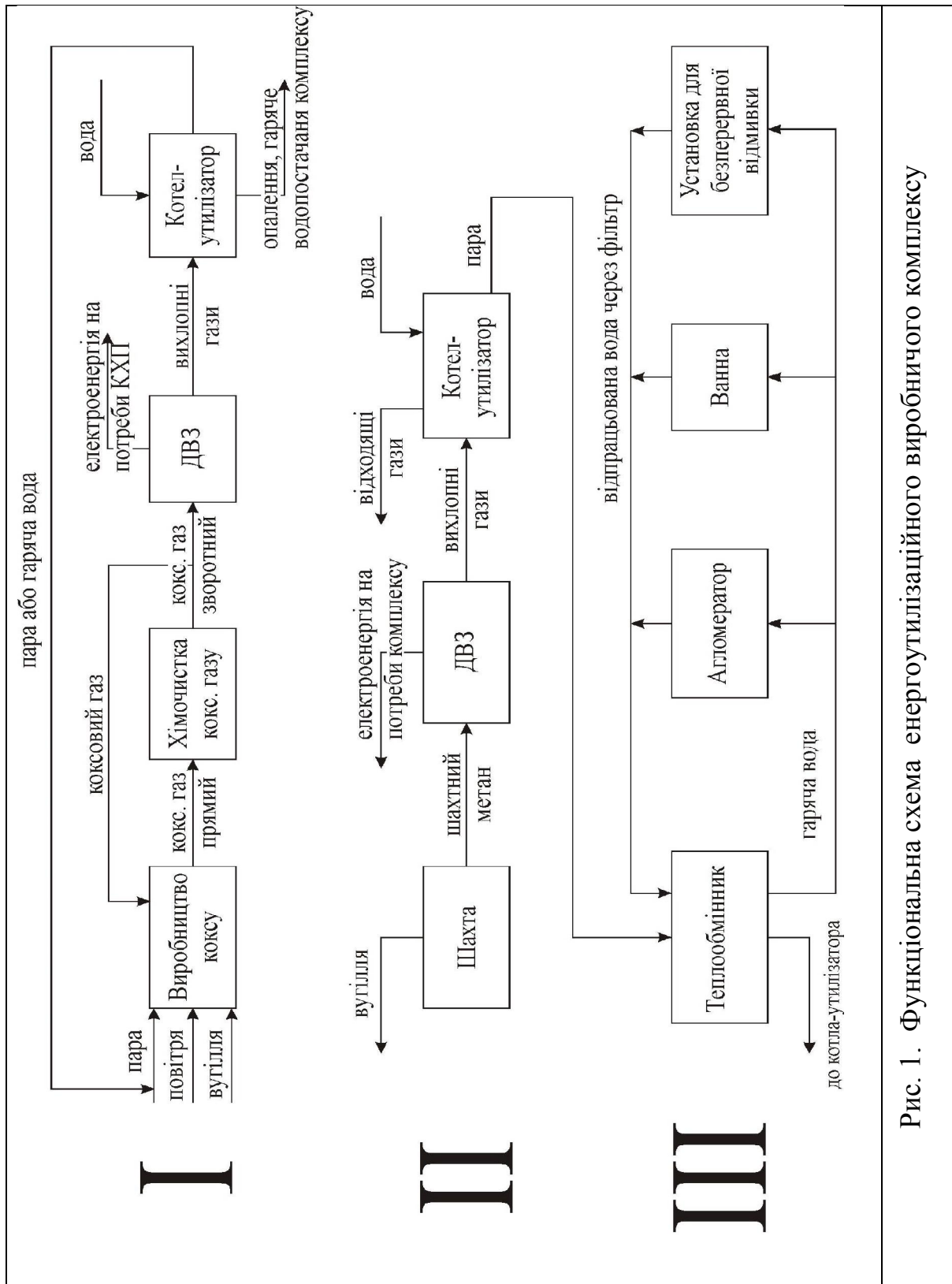


Рис. 1. Функціональна схема енергоутилізаційного виробничого комплексу

Такі виробничі комплекси (рис. 1). можуть бути створені: на базі підприємств великотоннажних виробників енергоносіїв, наприклад, коксохімзаводи й шахти – утилізація коксового газу або шахтного метану; підприємств по виділенню із твердих побутових та промислових відходів окремих видів потенційних енергоносіїв і ін. Ці енергоутилізаційні виробничі комплекси дозволяють не тільки утилізувати різні викиди підприємств або одержувати енергію з не підлягаючих переробці відходів, але створити й переробні підприємства для різних видів відходів, що підлягають переробці.

З методів використання, наприклад, полімерних відходів, найбільш перспективним з погляду ресурсозбереження є напрямок одержання вторинних полімерів. Дослідження спрямовані на рішення завдань підвищення ефективності використання відходів різних галузей промисловості в єдиному комплексі підприємств, що забезпечує всі свої енергетичні потреби самостійно. Розв'язання проблем утворення комплексних енергозберігаючих інноваційних підприємств в період високих цін на енергоносії представляють для України важливу й актуальну проблему державного значення, що безпосередньо пов'язана із впровадженням енергозберігаючих технологій, ефективним використанням енергоресурсів, запобіганням екологічних катастроф. Основна мета представленої розробки – роз'яснення можливостей використання енергетичного міксу різновидів природного газу у вигляді нових технологій з організації, виконання та упровадження комплексного інноваційного проектування на підприємствах з урахуванням вимог екологічної безпеки.

Висновки даного дослідження і перспективи подальших досліджень в даному напрямку. У роботі відповідно до постановки задачі дослідження отримані результати:

1) визначено можливий початковий зміст методики оцінки екологічної безпеки складних систем за методом компараторної ідентифікації факторів небезпеки у вигляді відношення показників стану чи динаміки систем до встановлених норм;

2) встановлені адекватні можливі критерії оцінювання для отримання результатів визначення екологічного рейтингу областей України на основі методики компараторного оцінювання екологічності техніко-еколого-економічних об'єктів (табл. 1 та 2).

Обґрунтованість переваг компараторної ідентифікації в методиці оцінки стану екологічності об'єктів визначається можливістю розвитку теоретично-практичних положень з врахування зв'язки між системами різної природи і визначення стану складових систем і об'єкта в цілому за всіма даними інформаційного простору моніторингу. Таким чином, далі буде розроблено алгоритмічне забезпечення з практичної реалізації методики оцінювання екологічності стану техніко-еколого-економічних систем; перспективним для даних досліджень з метою отримання якісних виробів з вторинного поліетилену є напрямок визначення експериментальних залежностей для всього спектру хімічного складу кисневмісних і ненасичених груп, а також механізмів зміни фізико-хімічних властивостей і будови поліетиленової плівки в залежності від термінів, місця і умов експлуатації. У подальшій повторній переробці такі дослідження дозволяють вибрати методи модифікації даної вторинної полімерної сировини з урахуванням особливостей її будови та хімічної активності.

Список літератури: 1. Передельский Л.В., Приходченко О.Е. Строительная экология: Учеб. пособие. Ростов-н/Д: Феникс, 2003. – 320 с. 2. Экологическая химия. / Под ред. Ф. Кортге. – М.: Мир, 1997. – 396 с. 3. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія / Т.В. Козуля. – Х.: НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с. 4. Пирожков С.І. Національна безпека України: сучасне розуміння / С.І. Пирожков, В. Селіванов // Вісник АН України. 1992. – № 9. – С. 3–10. 5. Качинський А.Б. Державна політика у сфері забезпечення екологічної безпеки (пропедевтичний аспект): н.-метод. посіб. / А. Б. Качинський. – К. : НА СБ України, 2005. – 117 с. 6. Дорогунцов С.І. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку: концепція системно-динамічного вирішення / С.І. Дорогунцов, О.М. Ральчук – К. : Наукова думка, 2001. – 173 с. 7. Руденко С.В. Екологічна безпека техногенно навантажених урбанізованих екосистем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / С.В. Руденко. – Мико-лаїв, 2007. – 36 с. 8. Бухкало С.И. Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов / С.И. Бухкало, А.В. Сериков, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 160–166. 9. Солженцев Е.Д. Концепция обеспечения безопасности сложных систем: «нулевого риска», «ненулевого риска», «смешанного подхода» / Е.Д. Солженцев, И.В. Солженцев // Теория и информ. технология моделирования безопасности слож. систем. – СПб. : Изд-во Ин-та проблем машиноведения РАН, 1994. – Вып. 4. – С. 67–82. 10. Дорогунцов С. І. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку: концепція системно-динамічного вирішення / С.І. Дорогунцов, О.М. Ральчук – К.: Наукова думка, 2001. – 173 с. 11. Рудько Г.І. Кибернетические методы изучения природных ресурсов. – К.: ИК, 1980. – 77 с. 12. Рудько Г.І. Екологічна безпека техноприродних геосистем (наукові та методичні основи) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Г.І. Рудько. –

Сімферополь, 2005. – 35 с. **13.** Воронцов Н.Н. Развитие эволюционных идей в биологии / Н.Н. Воронцов. – М.: Прогресс – Традиция, 1999. – 640 с. **14.** Згуровский М., Доброногов А., Померанцева Т. Исследование социальных процессов на основе методологии системного анализа / М. Згуровский, А. Доброногов, Т. Померанцева. – К.: Наук. Думка, 1997. – 221 с. **15.** Адаменко Я.О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Я.О. Адаменко. – Івано-Франківськ, 2006. – 32 с. **16.** Бухкало С.И. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки // Интегровані технології та енергозбереження. 2005. – № 2. – С. 29–33. **17.** Бухкало С.И. Применение математического моделирования для комплексных предприятий по переработке отходов / С.И. Бухкало, С.Е. Гардер, О.Ю. Химич и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 73–78. **18.** Бухкало С.И. Анализ эколого-правовой базы комплексной утилизации отходов полимеров / С.И. Бухкало, Н.Н. Зипунников, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 140–145. **19.** Бухкало С.И. Оценка качества модификации полиэтиленовых отходов с помощью математической модели / С.И. Бухкало, О.И. Ольховская, К.А. Бындич и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2010. – № 32. – С. 74–78. **20.** Бухкало С.И. / Анализ возможностей экономической оценки комплексной утилизации отходов полимеров // С.И. Бухкало, Р.Ф. Смолвик, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 133–139. **21.** Бухкало С.И., Гардер С.Е., Ольховская О.И. и др. Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 72–80. **22.** Бухкало С.И. Математическое моделирование как инструмент модификации отходов полимеров / С.И. Бухкало, О.И. Ольховская, А.А. Борхович и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2010. – № 32. – С. 52–57. **23.** Бухкало С.И. Оценка направленной модификации полимерных отходов с помощью математической модели / С.И. Бухкало, О.И. Ольховская, А.А. Борхович и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2010. – № 32. – С. 63–67. **24.** <http://www.ukrstat.gov.ua/> «Державна служба статистики України» **25.** Козуля Т.В. Оцінка екологічного стану регіонів України за методом компараторної ідентифікації / Т.В. Козуля, М.О. Білова // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 13. – С. 67–75.

Bibliography (transliterated): **1.** Peredel'skij L.V., Prihodchenko O.E. Stroitel'naja jekologija: Ucheb. posobie. Rostov-n/D: Feniks, 2003. – 320 p. **2.** Jekologicheskaja himija. / Pod red. F. Korte. – Moscow.: Mir, 1997. – 396 p. **3.** Kozulja T.V. Procesi ekologichnogo reguljuvannja. Koncepcija korporativnoї ekologichnoї sistemi: monografija / T.V. Kozulja. – Kharkov.: NTU «KhPI», 2010. – 588 s. **4.** Pirozhkov S.I. Nacional'na bezpeka Ukraїni: suchasne rozuminnja / S.I. Pirozhkov, V. Selivanov. Visnik AN Ukraїni. 1992. – No. 9. – P. 3-10. **5.** Kachins'kij A.B. Derzhavna politika u sferi zabezpechennja ekologichnoї bezpeki (propedevtichnij aspekt): n.-metod. posib. / A.B. Kachins'kij. – Kyiv. : NA SB Ukraїni, 2005. – 117 p. **6.** Doroguncov S.I. Upravlinnja tehnogenno-ekologichnoju bezpekoju u paradigmi stalogo rozvitku: koncepcija sistemno-dinamichnogo virishennja / S.I. Doroguncov, O.M. Ral'chuk – Kyiv : Naukova dumka, 2001. – 173 p. **7.** Rudenko S.V. Ekologichna bezpeka tehnogenno navantazhenih urbanizovanih ekosistem : avtoref. dis. na здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Ekologichna bezpeka» / S.V. Rudenko. – Mikolaїв, 2007. – 36 p. **8.** Buhkalo S.I. Ob utilizacii polimernyh othodov kak komplekse inno-

vacionnyh proektov / *S.I. Buhkalo, A.V. Serikov, O.I. Ol'hovskaja i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – p. 160–166. **9.** *Solzhenecv E.D.* Koncepcija obespechenija bezopasnosti slozhnyh sistem: «nulevogo riska», «nenulevogo riska», «smeshannogo podhoda» / *E.D. Solzhenecv, I.V. Solzhenecv.* Teorija i inform. tehnologija modelirovanija bezopasnosti slozh. sistem. – SPb. : Izd-vo In-ta problem mashinovedenija RAN, 1994. – Vyp. 4. – P. 67–82. **10.** *Doroguncov S.I.* Upravlinnja tehnogenno-ekologichnoju bezpekoju u paradigmi stalogo rozvitku: koncepcija sis-temno-dinamichnogo virishennja / *S.I. Doroguncov, O.M. Ral'chuk* – Kyiv.: Naukova dumka, 2001. – 173 p. **11.** *Rud'ko G.I.* Kiberneticheskie metody izuchenija prirodnyh resursov. – Kiev : IK, 1980. – 77 p. **12.** *Rud'ko G.I.* Ekologichna bezpeka tehnoprirodnih geosistem (naukovi ta metodichni os-novi) : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja dokt. tehn. nauk : spec. 21.06.01 «Ekologichna bez-peka» / *G.I. Rud'ko.* – Simferopol', 2005. – 35 p. **13.** *Voroncov H.H.* Razvitie jevoljucionnyh idej v biologii / *H.H. Voronov.* – Moscow. : Progress – Tradicija, 1999. – 640 p. **14.** *Zgurovskij M., Dobronogov A., Pomeranceva T.* Issledovanie social'nyh processov na osnove metodologii sistemnogo analiza / *M. Zgurovskij, A. Dobronogov, T. Pomeranceva.* – Kiev : Nauk. Dumka, 1997. – 221 p. **15.** *Adamenko Ja.O.* Ocinka vpliviv tehnogenno nebezpečnih ob'ektiv na navkolishne seredovi-shhe: naukovo-teoretichni osnovi, praktichna realizacija : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja dokt. tehn. nauk : spec. 21.06.01 «Ekologichna bezpeka» / *Ja.O. Adamenko.* – Ivano-Frankivs'k, 2006. – 32 p. **16.** *Buhkalo S.I.* K voprosu jenergosberezhenija processa aglomerirovanija polimernoj upakovki. Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. 2005. – No. 2. – P. 29–33. **17.** *Buhkalo S.I.* Primenenie matematicheskogo modelirovanija dlja kompleksnyh predprijatij po pererabotke ot-hodov / *S.I. Buhkalo, S.E. Garder, O.Ju. Himich i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – P. 73–78. **18.** *Buhkalo S.I.* Analiz jekologo-pravovoj bazy kompleksnoj utilizacii othodov polimerov / *S.I. Buhkalo, N.N. Zipunnikov, O.I. Ol'hovskaja i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2011. – No. 21. – P. 140–145. **19.** *Buhkalo S.I.* Ocenka kachestva modifikacii polijetilenovnyh othodov s pomoshh'ju matematicheskoy modeli / *S.I. Buhkalo, O.I. Ol'hovskaja, K.A. Byndich i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2010. – No. 32. – P. 74–78. **20.** *Buhkalo S.I.* / Analiz vozmozhnostej jekonomicheskoy ocenki kompleksnoj utilizacii othodov polimerov. *S.I. Buhkalo, R.F. Smolovik, O.I. Ol'hovskaja i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2011. – No. 21. – P. 133–139. **21.** *Buhkalo S.I., Garder S.E., Ol'hovskaja O.I. i dr.* Regulirovanie jeffektivnosti resurso- i jenergosberezhenija na kompleksnyh predprijatijah po pererabotke othodov. Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2012. – No. 10. – P. 72–80. **22.** *Buhkalo S.I.* Matematicheskoe modelirovanie kak instrument modifikacii othodov polimerov / *S.I. Buhkalo, O.I. Ol'hovskaja, A.A. Borhovich i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2010. – No. 32. – P. 52–57. **23.** *Buhkalo S.I.* Ocenka napravlennoj modifikacii polimernykh othodov s pomoshh'ju matematicheskoy modeli / *S.I. Buhkalo, O.I. Ol'hovskaja, A.A. Borhovich i dr.* Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «KhPI». 2010. – No. 32. – P. 63–67. **24.** «Derzhavna sluzhba statistiki Ukraïni» <http://www.ukrstat.gov.ua/> **25.** *Kozulja T.V.* Ocinka ekologichnogo stanu regioniv Ukraïni za metodom komparatornoï identifikacii / *T.V. Kozulja, M.O. Bilova* // Visnik NTU «KhPI». – Kharkov : NTU «Khpi». 2014. – No. 13. – P. 67–75.

Поступила (received) 05.09.14

О.В. БІЛОУС, аспірант, НТУ «ХП»;

І.М. ДЕМИДОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;

С.І. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА СИНЕРГІЗМУ МІЖ ТОКОФЕРОЛАМИ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ТА ІНГІБІТОРАМИ ОКИСНЕННЯ ЕКСТРАКТУ ІЗ ЛИСТЯ ГОРІХУ ВОЛОСЬКОГО

У статті розглядається вплив інгібіторів окиснення на стійкість соняшnikової олії до процесів окиснення. Приведена характеристика процесів, що відбуваються у жирах при дії на них кисню. Проаналізовано сучасний рівень використання інгібіторів окиснення у промисловості й надано порівняльний аналіз синтетичних та рослинних інгібіторів окиснення. Надані результати дослідження взаємодії між токоферолами соняшnikової олії та інгібіторами окиснення екстракту із листя горіху волоського. Приведено спосіб збору та принцип дії установки для очищення соняшnikової олії від токоферолів. Наведені результати повного факторного експерименту, фактори варіювання відповідні концентрації: токоферолів, екстракту із листя горіху волоського, лимонної кислоти; вихідний параметр – період індукції. Проаналізовано отримані дані та надані рекомендації щодо концентрацій введення інгібітору окиснення – екстракту із листя горіху волоського – до соняшnikової олії.

Ключові слова: токоферол, інгібітори окиснення, соняшnikова олія, період індукції.

Вступ. Жири та жировмісні продукти, що будуть використані для харчування або у складі косметичних продуктів, повинні бути безпечними для здоров'я людини. Одним із найважливіших факторів, що дозволяє зберегти якість при зберіганні жирів, є стійкість до окиснення.

Дія кисню повітря на жири призводить до накопичення різноманітних продуктів окиснення, які погіршують органолептичні та реологічні властивості. Жири, у яких вже почалися процеси окиснення, мають нижчу стійкість при подальшому зберіганні та при технологічній обробці, до того ж, вони небезпечні для здоров'я людини. З цих причин збереження жирів у неокисненому стані є важливою задачею. Одним із ефективних способів захисту жирів від окиснення є введення до їх складу інгібіторів окиснення – антиоксидантів [1].

© О.В. Білоус, І.М. Демидов, С.І. Бухкало. 2014

Аналіз останніх досліджень та літератури. На даний момент існує багато рослинних антиоксидантів [2, 3], при цьому переважна більшість підприємств використовує синтетичні антиоксиданти, тому що вони є економічно вигіднішими. Але синтетичні антиоксиданти не є безпечними для здоров'я людини [4], що стимулює тенденцію до переходу на натуральні – рослинні інгібітори окиснення.

В умовах конкуренції ринку актуальною задачею є створення високоефективних та безпечних харчових добавок, тому зараз ведуться роботи по дослідженню властивостей антиоксидантів рослинного походження. У таких дослідженнях увага приділяється багатьом факторам, серед яких – вплив заморожування та розморожування продуктів, що містять рослинні антиоксиданти, на стійкість до окиснення [5]; вивчається хімічний склад та пов'язані з ним антиоксидантні властивості різних спецій, трав, фруктів. Також вивчається явище синергізму між антиоксидантами в жирових продуктах [6]. Однак, явище синергізму між токоферолом та рослинними інгібіторами окиснення вивчено мало.

Мета досліджень, постановка проблеми. Відомо, що більшість олій має у своєму складі вітамін Е – токоферол. Виходячи з вищесказаного, мета дослідження – вивчити явище синергізму між токоферолами соняшникової олії та інгібіторами окиснення екстракту листя горіху волоського. Екстракт із листя горіху волоського ми обрали, базуючись на наших попередніх дослідженнях, що вже доказали наявність антиоксидантних властивостей цього екстракту [7, 8].

Матеріали досліджень. Соняшникова олія містить у своєму складі токофероли. Листя горіху волоського у своєму складі містять хінони, флавоноїди, дубильні речовини, вітамін В, аскорбінову кислоту. Ці речовини здатні виявляти антиокислювальні властивості. До того ж, вказані інгібітори окиснення відносяться до різних класів інгібіторів, що дає право очікувати явище синергізму.

Метою роботи було дослідити синергізм антиоксидантних речовин із листя горіху волоського та токоферолів соняшникової олії.

Для дослідження синергізму був спланований повний факторний експеримент із трьома параметрами, що підлягали варіюванню.

Цими параметрами є: вміст токоферолів в олії соняшниковій

рафінованій, концентрація екстракту із листя горіху волоського у суміші, що підлягає окисненню, вміст лимонної кислоти у суміші, що підлягає окисненню. Дослідження впливу лимонної кислоти було включено з тих причин, що вона здатна сповільнювати процеси окиснення. Вихідним параметром цього повного факторного експерименту був період індукції.

Для дослідження впливу токоферолу на стійкість до окиснення, нам була потрібна олія із різними концентраціями токоферолів. Для отримання олії, що частково очищена від токоферолів, була зібрана установка. Ця установка наведена на рис. 1.

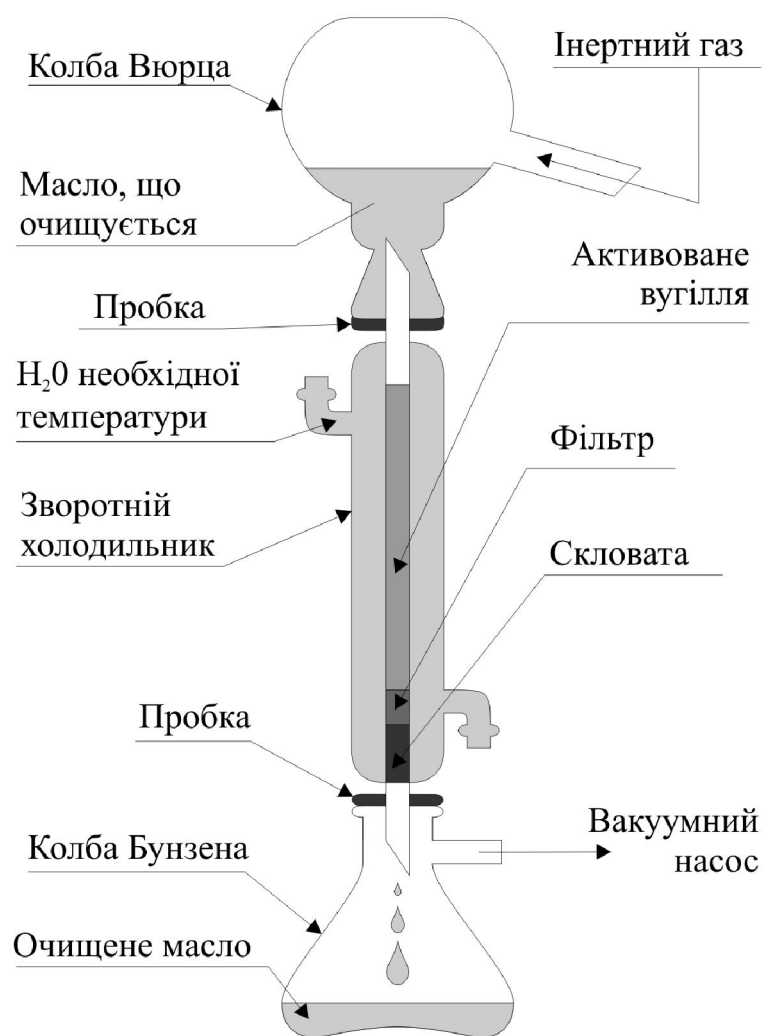


Рис. 1 - Установка для очищення соняшникової олії від токоферолів

Приведемо спосіб збору установки та принцип її дії. Зворотній холодильник було з'єднано з термостатом. Внутрішню колонку холодильника заповнювали у такий послідовності: спочатку йде шар скловати,

потім шар фільтрувального паперу, зверху – шар адсорбенту в олії, що підлягає очищенню. У якості адсорбенту використовували подрібнене активоване вугілля. Процес очищення проводили при температурі 70 °С. Для цього у оболонку зворотного холодильника подавали воду з температурою 70 °С. Зверху до холодильника була приєднана колба Вюрца. У колбі – соняшникова олія, що підлягає очищенню. До трубки колби Вюрца була приєднана ємність з інертним газом. В нашому випадку це був азот. Знизу до холодильника, у якості приймача, приєднали колбу Бунзена, яка, у свою чергу, була з'єднана з вакуум-насосом.

Порядок роботи на установці такий: після з'єднання всіх вищезазначених елементів установки вмикається вакуум-насос та йде процес фільтрації олії через шар адсорбенту. Завдяки створеному вакууму олія насичується інертним газом та проходить через шар адсорбенту. При цьому токоферолі соняшникової олії адсорбуються на активованому вугіллі. Далі олія, частково очищена від токоферолів, проходить крізь шар скловати та фільтрувального паперу, очищуючись таким чином від відпрацьованого активованого вугілля, і звідти краплинами стікає до колби Бунзена.

Про ступені очищення олії від токоферолів судять порівнюючи періоди індукції олій до та після очищення. В олії, що пройшла очищення, період індукції зменшується. Це відбувається за рахунок того, що вміст токоферолів – природних інгібіторів окиснення – зменшується.

Кількість циклів такої очистки залежить від того, на якій відсоток планується зменшити вміст токоферолів. Всі наступні цикли проводять за методикою, що була описана вище, з однією тільки відміною – олію беруть з попередньої очистки і доочищують вже саме її.

За зміною періодів індукції ми стежили за графіками, що були побудовані після обробки даних, а також були отримані на приборі ОКСИТЕСТ. Цей прибор дозволяє дослідити періоди індукції. Окиснення проводилось при температурі 90 °С. Олія, що підлягала очищенню – олія соняшникова рафінована. Початковий період індукції цієї олії – 780 хвилин. Після першої очистки період індукції став 660 годин. Такі цикли очистки проводились до досягнення значення періоду індукції 100 хвилин.

Олію зі зменшеним вмістом токоферолів слід зберігати у щільно закритій скляній колбі без доступу світла та кисню. Для цього перед закриттям колбу з олією насичують інертним газом, задля того щоб витіснити кисень, що потрапив до олії при переливанні до колби. Після цього таку колбу поміщають до холодильника та зберігають її там.

Результати досліджень. Окиснення зразків та обробку отриманих даних проводили на приборі ОКСИТЕСТ. Процес окиснення проводився за температури 70 °С, у якості ініціатору процесу окиснення був 0,05 Н розчин азоізобутиронітрилу у ксилолі. Суміш, що підлягала окисненню мала такий склад: олія соняшникова – 6 мл, екстракт із листя горіху волоського – 0,2–0,8 мл, розчин 0,05 Н азоізобутиронітрилу у ксилолі – 0,4 мл, спирт етиловий – 0,8–1,4 мл.

Матриця планування експерименту наведена у таблиці 1, в якій:

x1 – вміст токоферолів в олії соняшниковій рафінованій (від 10 до 75), мг/100г;

x2 – концентрація екстракту горіху волоського (від 2,5 до 10), %;

x3 – вміст лимонної кислоти (від 0 до 2,5), %;

Y – період індукції, хв

Таблиця 1. Матриця планування експерименту

№ досліджу	x1, мг/100г	x2, %	x3, %	Y, хв
1	10	2,5	0	214.15
2	10	2,5	2,5	215.25
3	10	10	0	233
4	10	10	2,5	235.5
5	75	2,5	0	2696
6	75	2,5	2,5	2711
7	75	10	0	3129
8	75	10	2,5	3143

Обробка результатів експерименту проводилась у середовищі MathCAD за описаними методиками [9]. Після обчислення результатів та вилучення незначущих факторів було отримане рівняння регресії, що має наступний вигляд:

$$Y=483,11+27,58* x1+9,08*x2+1,31*x3+0,65*x1*x2+0,06* x1*x3$$

Як видно з отриманих результатів, лимонна кислота дає несуттєве збільшення часу періоду індукції. Це може відбуватися за рахунок того, що у екстракті горіху волоського є вітамін С та подальше збільшення концентрації кислоти вже не впливає на стійкість до окиснення. Тому робимо висновок про недоцільність додавання лимонної кислоти до зробленого нами інгібітору окиснення із листя горіху волоського.

Додавання ж екстракту із листя горіху волоського суттєво впливає на збільшення періоду індукції, до того ж, бачимо проявлення синергізму між інгібіторами окиснення, що є у складі екстракту із листя горіху волоського, та вітаміном Е (токоферолом).

Щодо аналізу концентрацій додавання такого екстракту до жиrowмісних сумішей, то, як видно з результатів, збільшення концентрації екстракту веде до збільшення періоду індукції. Ми досліджували інтервал концентрації екстракту від 2,5 до 10%. У перерахунку на сухі речовини цей інтервал буде від 0,025 до 0,1%.

Для більш повного аналізу був проведений ще так званий контрольний дослід. Це дослід проведений за тих же умов, що і дослід повного факторного експерименту, але без додавання екстракту горіху волоського. Склад суміші, що підлягала окисненню був такий: олія соняшникова (вміст токоферолів 75 мг/100 г) – 6 мл, розчин 0,05 Н азоізобутиронітрилу у ксилолі – 0,4 мл, спирт етиловий – 1,6 мл. Період індукції при окисненні такої суміші склав 1426 хвилин. Період індукції при окисненні суміші досліду № 5 (дивитись таблицю 1) склав 2696 хвилин. Період індукції при окисненні суміші досліду № 7 (дивитись таблицю 1) склав 3129 хвилин. Для зручності побудуємо таблицю 2.

Таблиця 2. Залежність періоду індукції від концентрації екстракту горіху волоського

Вміст екстракту, у перерахунку на сухі речовини, %	Період індукції, хв
0	1426
0,025	2696
0,1	3129

Приймемо період індукції, що був отриманий при окисненні суміші без додавання екстракту листя горіху волоського, за 100 %. Тоді

період індукції при окисненні суміші з додаванням 0,025 % екстракту листя горіху волоського (у перерахунку на сухі речовини) склав 189 %, а період індукції при окисненні суміші з додаванням 0,1 % екстракту листя горіху волоського (у перерахунку на сухі речовини) склав 219 %. Отримуємо різницю 30 % при варіюванні концентрацій екстракту від 0,025 до 0,1 % (у перерахунку на сухі речовини).

Наведемо ще один спосіб обчислення результатів таблиці 2 – це обчислення за антиокислювальною активністю (АОА) [1].

$$АОА = T1/T2,$$

де T1 – тривалість індукційного періоду досліджуваної суміші, хв;

T2 – тривалість індукційного періоду контрольної суміші, хв.

Для суміші з додаванням 0,1 % екстракту у перерахунку на сухі речовини отримуємо показник:

$$АОА1 = 3129/1426=2,19,$$

а для суміші з додаванням 0,025 % екстракту у перерахунку на сухі речовини:

$$АОА2 = 2696/1426=1,89.$$

Таким чином, отримуємо результат: $АОА1-АОА2 = 2,19 - 1,89 = 0,30 = 30\%$. Як бачимо з результатів, додавання 0,025% інгібітору із листя горіху волоського збільшує період індукції майже в 2 рази, що є якісним показником. Але якщо є необхідність додатково стабілізувати олію до процесів окиснення, то можливе збільшення концентрації інгібітору із листя горіху волоського до 0,1%.

Висновки.

1. Досліджено вплив інгібіторів окиснення екстракту із листя горіху волоського на стійкість до окиснення соняшникової олії при різних концентраціях токоферолів.

2. Досліджено вплив лимонної кислоти на стійкість до окиснення при додаванні її до суміші соняшникової олії з екстрактом із листя горіху волоського. Виявлена недоцільність введення лимонної кислоти до такої суміші.

3. Доказано присутність явища синергізму між токоферолами соняшникової олії та інгібіторами окиснення екстракту із листя горіху волоського.

4. Доцільно додавати інгібітор окиснення із листя горіху волоського до соняшникової олії у концентрації 0,025% .

Список літератури: 1. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / Под ред. В.П. Ржевина, А.Г. Сергеева. – Л.: ВНИИЖ, 1982. – 1054 с. 2. Пат. 28571А Україна, МПК С11В 5/00. Спосіб стабілізації соняшникової олії до окиснення / Коршунова Г.Ф.; заявник та патентовласник Донецький державний університет. № 97073487; заявл. 02.07.97; опубл. 16.10.00, Бюл. №5/2000 3. Пат. 69987 Україна, МПК С11В 5/00. Спосіб стабілізації рослинної олії / Усатюк С.І.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № 201112464; заявл. 24.10.11; опубл. 25.05.12, Бюл. №10/2012 4. Тютюнников Б.Н. Химия жиров / Б.Н. Тютюнников, Ф.Ф. Гладкий. – М: Колос, 1992. – 448 с. 5. Стрюкова А.Д. Влияние замораживания и размораживания на химический состав и антиоксидантную активность ягод земляники / А.Д. Стрюкова, Н.В. Макарова // Пищ. промышленность, 2013. – № 5. – с. 68–70. 6. Саркисян В.А. Синергические взаимодействия антиоксидантов в жировых продуктах / В.А. Саркисян, Е.А. Смирнова // Пищ. промышленность, 2013. – №3. – с. 14–17. 7. Пат. 89254 Україна, МПК С11В 5/00. Спосіб гальмування окиснення жирів, олій та жиромісних продуктів / Білоус О.В., Демидов І.М.; заявник та патентовласник Білоус О.В., Демидов І.М.. № u 201314021; заявл. 02.12.13; опубл. 10.04.14, Бюл. №7/2014 8. Білоус О.В. Дослідження ефективності антиоксиданту з листя горіху волоського при окисненні соняшникової олії / О.В. Білоус, І.М. Демидов // Вісник НТУ «ХПІ», 2014. – №27. – с. 8–12. 9. Бондарь Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии / Г.А. Бондарь, Г.А. Статюха. – К.: «Вища школа», 1976. – 184 с.

Bibliography (transliterated): 1. Rukovodstvo po metodam issledovanija, tehnohimicheskomu kontrolju i uchetu proizvodstva v maslozhirovoj promyshlennosti / Pod red. V.P. Rzhehina, A.G. Sergeeva. – Leningrad: VNIIZh, 1982. – 1054 p. 2. Pat. 28571A Ukraïna, MPK S11V 5/00. Sposib stabilizacii sonjashnikovoï oliï do okisnennja / Korshunova G.F.; zajavnik ta patentovlasnik Doneckij derzhavnij universitet. № 97073487; zajavl. 02.07.97; opubl. 16.10.00, Bjul. №5/2000 3. Pat. 69987 Ukraïna, MPK S11V 5/00. Sposib stabilizacii roslinnoï oliï / Usatjuk S.I.; zajavnik ta patentovlasnik Nacional'nij universitet harchovih tehnologij. № 201112464; zajavl. 24.10.11; opubl. 25.05.12, Bjul. №10/2012 4. Tjutjunnikov B.N. Himija zhirov / B.N. Tjutjunnikov, F.F. Gladkij. – Moscow: Kolos, 1992. – 448 p. 5. Strjukova A.D. Vlijanie zamorazhivanija i razmorazhivanija na himicheskij sostav i antioksidantnuju aktivnost' jagod zemljaniki / A.D. Strjukova, N.V. Makarova. Pishh. promyshlennost', 2013. – No. 5. – P. 68–70. 6. Sarkisjan V.A. Sinergicheskie vzaimodejstvija antioksidantov v zhirovyh produktah / V.A. Sarkisjan, E.A. Smirnova // Pishh. promyshlennost', 2013. – No. 3. – P. 14–17. 7. Pat. 89254 Ukraïna, MPK S11V 5/00. Sposib gal'muvannja okisnennja zhiriv, olij ta zhirovmisnih produktiv / Bilous O.V., Demidov I.M.; zajavnik ta patentovlasnik Bilous O.V., Demidov I.M.. No. u 201314021; zajavl. 02.12.13; opubl. 10.04.14, Bjul. №7/2014 8. Bilous O.V. Doslidzhennja effektivnosti antioksidantu z listja gorihu volos'kogo pri okisnenni sonjashnikovoï oliï / O.V. Bilous, I.M. Demidov // Visnik NTU «KhPI», 2014. – No. 27. – P. 8–12. 9. Bondar' G.A. Planirovanie jeksperimenta v himicheskij tehnologii / G.A. Bondar', G.A. Statjuha. – Kiev: «Vishha shkola», 1976. – 184 p.

Надійшла (received) 23.10.14

В.М. МИХАЙЛОВ, д-р техн. наук, проф. ХГУПТ, Харьков;
Л.В. КИПТЕЛАЯ, д-р техн. наук, проф. ХГУПТ, Харьков;
С.Ю. САЕНКО, канд. техн. наук, доц. ХГУПТ, Харьков;
А.Н. ЗАГОРУЛЬКО, аспирант. ХГУПТ, Харьков

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ИК-СУШИЛКЕ

В статье представлено усовершенствования структуры питания населения путем введения в рацион растительного плодоягодного сырья. Исследованиями доказано, что использование ИК-излучения в технологии сушки плодоягодного сырья, позволяет максимально сохранить БАВ в продукте. На основании результатов исследований спроектирована вертикальная ИК-сушилка, преимущества которой заключаются в: снижении продолжительности процесса сушки за счет вынужденной конвекции; повышении качества готового продукта за счет мягкого обогрева и низкого температурного режима; равномерном тепловом поле на приемной поверхности за счет цилиндрической формы ИК-сушилки; уменьшении геометрических размеров и простоты конструкции за счет прямоугольной формы карбонового ИК-нагревателя в рабочей камере; интенсификации процесса сушки за счет возможности контроля количества поступающего свежего воздуха в рабочую камеру и использования вторичного тепла в процессе ИК-сушки, а так же моделирование распределения теплового потока в рабочей камере с помощью компьютерной программы TracePro.

Ключевые слова: моделирование, распределение, проектирование, ИК-сушка.

Постановка проблемы. В связи с ухудшением экологического положения в Украине и в других Европейских странах главной задачей пищевой промышленности Украины, является усовершенствование и разработка технологических процессов, позволяющих сохранить максимальное количество биологически активных веществ (БАВ) в растительном сырье. [1]. Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что использование инфракрасной энергии для сушки растительного сырья позволяет сохранить БАВ в продукте, за счет мягкого температурного процесса (40...60 °С) и способу извлечения влаги из сырья [2].

© В.М. Михайлов, Л.В. Киптелея, С.Ю. Саенко, А.Н. Загорулько. 2014

Цель работы. Главной целью работы является исследование процесса ИК-сушки растительного сырья, а так же создание вертикальной ИК-сушилки и моделирование распределения теплового потока в рабочей камере с помощью компьютерной программы TracePro.

Анализ последних исследований и публикаций. В результате литературного анализа процессов сушки растительного сырья с использованием ИК-излучения было предложено создать экспериментальную установку для исследования процессов сушки, с подбором актуального и энергоэффективного ИК-генератора, и возможностью дальнейшего компьютерного моделирования распространения ИК лучей в рабочей камере [3].

На сегодняшний день для создания ИК-сушилок предлагается использовать пленочной электронагреватель (ПЛЕН), который устойчив к температуре и влажности, а изоляционный материал PET Maker помогает выдерживать перепады напряжения. Нагреватель широко распространяется во всем мире, поскольку имеет простоту монтажа, легкость конструкции нагревателя и низкую энергоемкость. Двухлинейный шаг и конфигурация карбоновых полос нагревательной пленки, нейтрализует электромагнитное поле от нагревателей, а соединение их с медной шиной происходит с помощью защитного серебряного напыления, что препятствует нагреву медной шины и гарантирует ее долговечность. Основными технологическими параметрами нагревающей пленки являются: температура на поверхности ленты 45 °С; температура плавления пленки 256 °С; толщина 0,3 мм; длина волны ИК-излучателя составляет 10 мкм, а потребляемая мощность 210 Вт. Именно эти технологические данные позволяют использовать нагревающую карбоновую пленку для мягких процессов сушки плодоягодного сырья, при низких температурах.

Результаты исследований. Предложено создать экспериментальную вертикальную ИК-сушилку, позволяющую снизить энерго- и металлоемкость существующих конструкций (рис.1), а форма камеры обеспечивает максимальную равномерность теплового потока в рабочей камере и на лотках с продуктом.

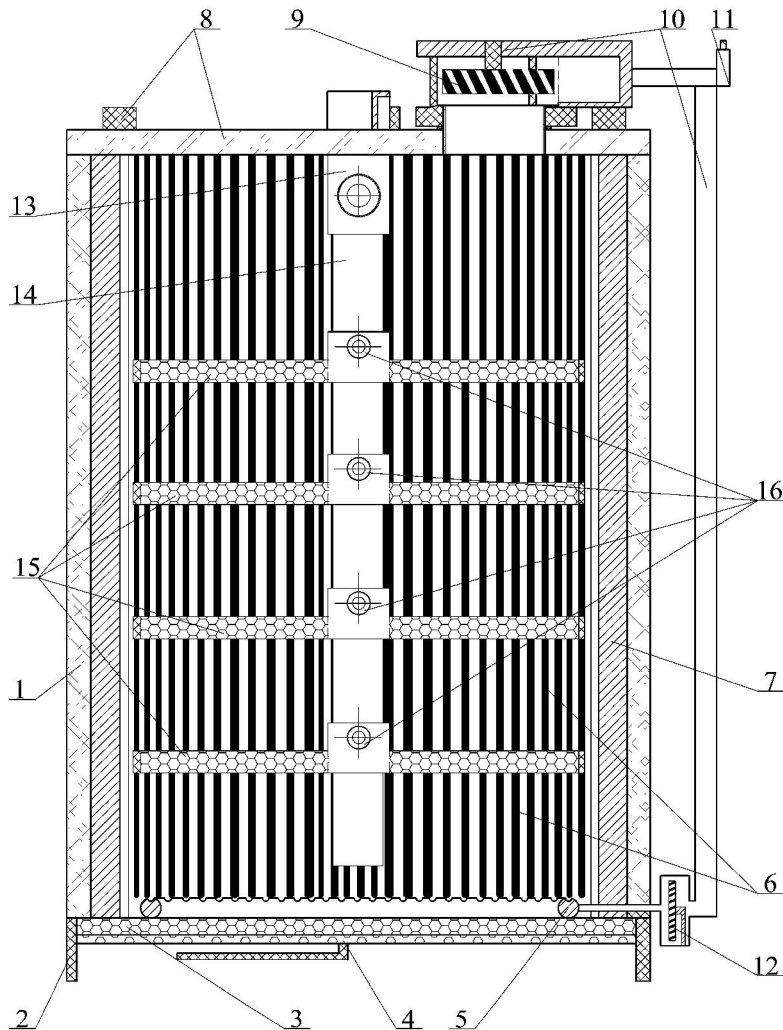


Рис. 1. Экспериментальная ИК – сушилка: 1 – вертикальная цилиндрическая рабочая камера; 2 – стойки; 3 – распределительная решетка; 4 – регулирующая задвижка; 5 – кольцевой барботер; 6 – продольные оси рабочей камере карбоновые прямоугольные ИК-излучатели; 7 – отражающая фольга с теплоизолирующим листовым алюфомом; 8 – крышка с затяжными фиксаторами; 9 – вытяжной вентилятор; 10 – канал; 11 – регулирующая задвижка; 12 – нагнетающий вентилятор; 13 – фиксаторы; 14 – штатив; 15 – сетчатые лотки; 16 – монтажные шпильки

Работа аппарата заключается в следующем: плодоягодное сырье загружается на сетчатые лотки 15, которые фиксируются с помощью монтажной шпильки 16 на штатив 14. После чего штатив с лотками устанавливается в фиксирующем устройстве 13 крышки 8 с затяжными фиксаторами и вытяжным вентилятором 9 и загружается в цилиндрическую вертикальную рабочую камеру сушилки 1, установленной на стойках 2, где сырье сушится при температуре 40...60 °С. Отработанный и подогретый воздух нагнетается вентилятором 9 в канал 10, где при открытой задвижке 11 нагретый вторичный воздух от нагнетающего вентилятора

12 поступает в кольцевой барботер 5, которой установлен у ИК-нагревателей, создавая в пристеночном слое турбулентный режим.

Для исследования распределения теплового потока в рабочей камере с установленными лотками использовали компьютерную программу TracePro [4]. Ее используют для моделирования процессов, которые описываются законами оптики и, в частности, тех, которые основываются на утверждении – угол падения луча равен углу отражения. Программа моделирует ход лучей в рабочей камере и позволяет задавать спектр потока и мощность ИК-излучателей, что дает возможность получить количественные характеристики тепловых потоков. Перед моделированием в TracePro сначала устанавливается необходимая мощность ИК-излучателей и длина волны. После чего программа случайным образом выбирает точки на поверхности излучателей и направление движения лучей и автоматически вычисляет их траекторию. На (рис. 2) представлено распределение теплового потока на приемной поверхности.

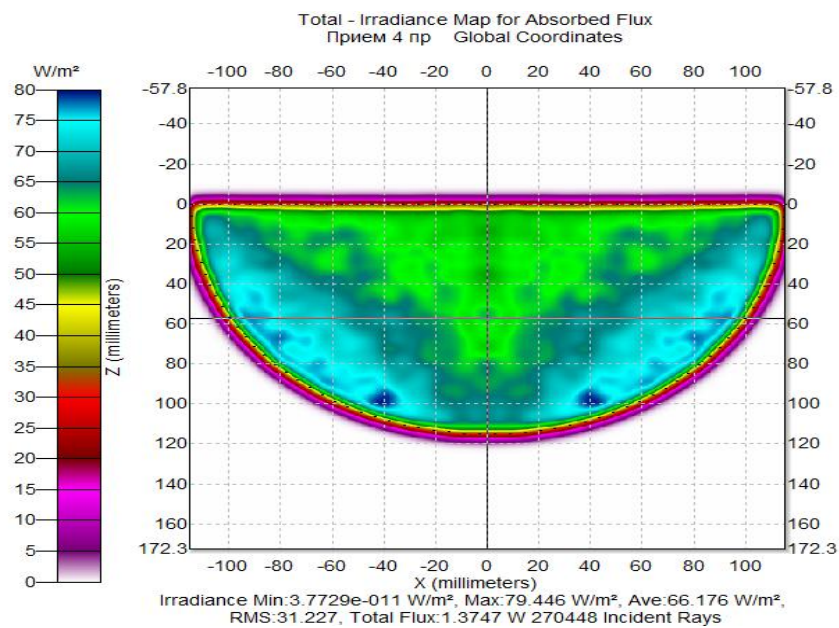


Рис. 2. Распределение теплового потока на приемной поверхности

Таким образом, констатируем, что все точки рабочей поверхности, как это и предсказывала теория, прогреваются равномерно, а незначительная неравномерность, которая изображается изменением цвета отдельных участков при переходе от одной точки рабочей поверхности к

другой, объясняется погрешностями метода вычислений, используемого программой TracePro.

Выводы. На основании результатов исследований спроектирована вертикальная ИК-сушилка, преимущества, которой заключаются в: снижении энерго- и металлоемкости, поскольку потребляемая мощность 210 Вт, а масса установки без загрузки – 5 кг; простоте конструкции и легкости в эксплуатации с минимальной автоматизацией, и использовании компьютерной программы TracePro позволяет представить распределение теплового потока в рабочей камере и на приемных поверхностях в зависимости от формы камеры конструкции и размещения карбоновых излучателей. На данную конструкцию сушилки получен патент Украины № 106461 – «ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини»

Список литературы: 1. *Гинзбург А.С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищ. промышл., 1973. – 528 с. 2. *Киптела Л.В.* ІЧ-сушіння рослинної сировини. Les problemes contemporains dela technosphere et dela formation des cadres d'ingenieurs. VII Conf. internationale scientifique et methodique du 8–17 octo-bre 2013 a Sousse (Tunisie). С. 138–140. / *Киптела Л.В., Загорулько А.М., Мольский О.С.* 3. *Кип-телая Л.В.* Влияние размещения рефлектора в ИК-сушилке на процессе сушки плодово-ягодного сырья. Межд. н-технол. конференция «Низкотемпературные и пище-вые технологии в XXI веке» / *Киптелая Л.В., Загорулько А.Н.* (СПб, 13–15 ноября 2013 г.). 321–323 с. 4. *Киптела Л.В.* Моделювання розповсюдження ІЧ-випромінювання в сушарках із циліндричною формою рефлектора / *Киптела Л.В., Саєнко С.Ю., Загорулько А.М., Мольский О.С.,* Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, зб. н. праць, вип. 1(17). Ч. 1, X. 2013.

Bibliography (transliterated): 1. *Ginzburg A.S.* Osnovy teorii i tehniki sushki pishhevyh produktov. – Moscow. : Pishh. promyshlennost', 1973. – 528 p. 2. *Kiptela L.V.* ICh–sushin-nja roslinnoi sirovini. Les problemes contemporains dela technosphere et dela formation des cadres d'ingenieurs. VII Conf. internationale scientifique et methodique du 8–17 octobre 2013 a Sousse (Tunisie). P. 138–140. / *Kiptela L.V., Zagorul'ko A.M., Mol'skij O.S.* 3. *Kiptelaja L.V.* Vlijanie razmeshhenija reflektora v IK-sushilke na processe sushki plodovo-jagodnogo syr'ja. Mezhd. n-tehnologicheskaja konferencija «Nizkotemperaturnye i pishhevye tehnologii v XXI veke» / *Kiptelaja L.V., Zagorul'ko A.N.* (Sankt-Peterburg, 13–15 nojabrja 2013). 321–323 p. 4. *Kiptela L.V.* Modeljuvannja rozpovsjudzhennja ICh-viprominjuvannja v susharkah iz cilindrichnoju formoju reflektora / *Kiptela L.V., Saenko S.Ju., Zagorul'ko A.M., Mol'skij O.S.,* Progresivni tehnika ta tehnologii harchovih virob-nictv restorannogo gospodarstva i torgivli, zb. nauk. prac', v. 1(17). Ch. 1, Kharkov. 2013.

Надійшла (received) 05.09.14

Т.В. КОЗУЛЯ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;
М.О. БІЛОВА, аспірант, НТУ «ХП»

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ МЕТОДИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ ЗА СТАНОМ СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті надані основні аспекти необхідності удосконалення методичного забезпечення оцінки стану складних об'єктів, що базується на теорії компараторної ідентифікації. Запропоновані підходи до створення комплексної методики для ідентифікації вагомих факторів порушення екологічної відповідності, ідентифікації рівня екологічності природно-техногенних систем і оцінки екологічної якості різного рівня дослідження об'єктів. У роботі запропоновано застосування методу головних компонент як першочергового етапу аналізу загального стану контрольованої системи, алгоритмічне забезпечення його реалізації у комплексі з методом компараторної ідентифікації. Отримані та проаналізовані результати практичної реалізації удосконаленої методики при дослідженні екологічного стану регіонів України. Визначені перспективи подальших досліджень, що передбачають аналіз більшої кількості даних і розділення їх за напрямками (екологічний, економічний, соціальний) з виявленням вагомих факторів екологічної небезпеки, що потребують управлінського регулювання.

Ключові слова: соціально-еколого-економічна система, екологічна якість, оцінка небезпеки, компараторна ідентифікація, метод головних компонент.

Вступ. Актуальність даної роботи пов'язана з подальшим розвитком методичного забезпечення оцінки екологічної відповідності стану складних системних об'єктів різного рівня дослідження, що мають природно-техногенне походження. Необхідність розробки комплексних підходів і методик ідентифікації рівня екологічності територіальних систем, системних об'єктів соціально-економічного, еколого-економічного характеру відповідає програмам екологічного розвитку суспільства і положенням концепції сталого розвитку. Запропонована методика компараторної ідентифікації екологічності системних об'єктів дозволила отримати порівняні результати на глобальному та локальному рівнях дослідження. Однак, аналіз наданої оцінки стану дослідженого об'єкта на мезо- і мікрорівні досліджень визначив необхідність подальшого вдосконалення методики з метою отримання конкретних вагомих результатів для цільового регулювання екологічної якості природно-техногенних утворень [1]. У роботі пропонується комплексне використання методів

головних компонент і компараторної ідентифікації як методичного забезпечення екологічної оцінки систем і управління безпекою техногенних об'єктів.

Таким чином, **метою роботи** є вдосконалення методичного забезпечення дослідження екологічності системних об'єктів, формування комплексної методики оцінки відповідності рівню екологічної безпеки природно-техногенних систем. Цільовими задачами дослідження визначені такі:

1) надати аналіз працездатності запропонованої методики комплексного дослідження стану об'єктів регіонального моніторингу на базі теорії компараторної ідентифікації;

2) запропонувати практичні удосконалення для отримання комплексного методичного забезпечення екологічної оцінки безпеки і визначення факторів регулювання якості техногенних систем;

3) розробити алгоритмічне забезпечення запропонованої методики;

4) визначити рівень результатів використання комплексної методики на рівні регіональних екологічних досліджень.

Розв'язання задачі дослідження і аналіз результатів. Для успішної обробки інформації кількість даних має вагомим значення для правильності отриманих результатів і встановлення межі негативної дії інформаційного шуму. Інформаційним шум – це частина даних, яка не містить у собі шуканої інформації і проявляє себе через кореляційні зв'язки між змінними. Поняття ефективного рангу і прихованих, так званих латентних змінних, число яких дорівнює цьому рангу, є важливим у методі головних компонент. Метою цього методу є вилучення з усього доступного набору даних необхідної для вирішення поставленої задачі інформації. У багатовимірному випадку процес виділення головних компонент відбувається за рахунок послідовного виконання кроків:

1) пошук центру сукупності даних для переносу початку координат – нульова головна компонента (GK_0);

2) вибір напрямку максимальної зміни даних – перша головна компонента (GK_1);

3) визначення наступного напрямку (GK_2), перпендикулярного до першого, якщо дані описані не повністю (шум великий), з метою подан-

ня змін в даних, що залишилися і т.д.

Виділення головних компонент дозволяє перейти до нового подання інформації у більш компактній і вагомій формі для аналізу при збереженні інформативності вихідних даних. Отримані головні компоненти дозволяють виявити вагомі параметри управління характером і структурою змін в аналізованій системі з збереженням інформативності даних [2]. Для аналізу вихідних даних моніторингу пропонується використовувати програмний пакет Statistica 6.0 [2, 3]. Алгоритмічне забезпечення з оцінки екологічності природно-техногенних об'єктів у зв'язку з комплексуванням методик аналізу вихідної інформації визначає етапність дослідження: попередній аналіз даних, встановлення узагальненої оцінки якості системного об'єкта (рис. 1).

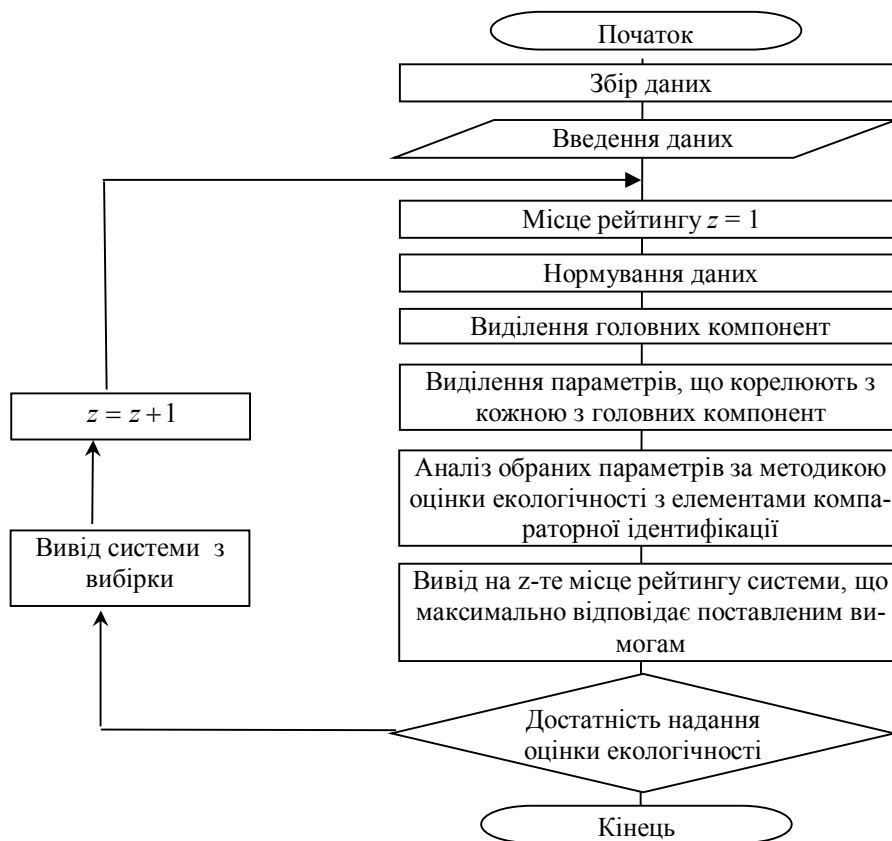


Рис. 1. Схема алгоритму комплексного методичного забезпечення оцінки екологічності системного об'єкта

У практичних дослідженнях роботи методики оцінки екологічної якості системних об'єктів проаналізовано дані еколого-соціально-

економічного моніторингу регіонів України за 2013 рік. Аналіз здійснено за двадцятьма параметрами, де x_1 – природний приріст населення у 2013 р.; x_2 – міграційний приріст населення у 2013 р.; x_3 – народжуваність; x_4 – померлі до 1 року; x_5 – середня зарплата, грн.; x_6 – прийняття в експлуатацію житла, тис.м²; x_7 – обсяг виконаних будівельних робіт, млн. грн.; x_8 – безробітні працездатного віку, тис.; x_9 – кількість зайнятих працівників на підприємствах, тис. осіб; x_{10} – кількість підприємств; x_{11} – реалізована промислова продукція, млн.грн.; x_{12} – капітальні інвестиції, млн. грн.; x_{13} – обсяг експорту товарів, тис. дол. США; x_{14} – викиди забруднюючих речовин в а. п., тис. т.; x_{15} – викиди діоксиду вуглецю, тис. т.; x_{16} – утворено відходів, тис. т.; x_{17} – утилізовано відходів, тис. т.; x_{18} – наявність відходів у спеціально відведених місцях чи та на території підприємств, тис. т.; x_{19} – відтворення лісів, тис. га; x_{20} – залишок деревини на лісосіках, тис. куб. м [4].

Початкові дані за вказаними параметрами мають вигляд: Автономна Республіка Крим (0; 4276; 24054; 167; 2850; 963,4; 2173,9; 55,2; 228,8; 16228; 22673,4; 14383,4; 904896,2; 130,4; 2696,6; 2584,8; 389; 55118,6; 1; 1,1); Вінницька (0; 62; 17437; 140; 2651; 352,4; 1434,5; 64,4; 157,3; 9321; 22739,0; 5757,5; 679307,9; 229; 2189,2; 2907,4; 225; 27832,9; 2,1; 55,5); Волинська (1034; 312; 14700; 91; 2580; 225,1; 665,3; 37,9; 108,2; 5511; 10185,3; 3104,6; 628811,2; 85,5; 1255,2; 572; 78,6; 15505,5; 4,3; 17,4); Дніпропетровська (0; 1812; 36134; 276; 3336; 305,5; 5096,7; 106,8; 739,9; 28194; 201228,3; 20456,3; 9795286,3; 1143,8; 35614,5; 300581,8; 102195,5; 9739080,6; 0,6; 2,8); Донецька (0; 1267; 41034; 467; 3755; 415,6; 7928,7; 165,5; 855,6; 28731; 205697,2; 26939,6; 12408182,7; 1646,5; 62514,5; 53295,2; 10993,7; 2819404,2; 1; 5,7); Житомирська (0; 721; 15001; 116; 2561; 175,2; 610,5; 56,8; 121,6; 6645; 15672,8; 2755,3; 606116,3; 88,4; 1694,4; 673,2; 89,3; 6630,7; 8,5; 172,4); Закарпатська (3689; 0; 18490; 175; 2553; 380,2; 426,7; 45,6; 86,9; 6024; 9290,7; 2331,4; 1299965,6; 69,2; 1071,9; 123,3; 5,7; 1825; 2,9; 37,1); Запорізька (0; 870; 18134; 149; 3142; 179,6; 1451,8; 57,7; 293; 14777; 75846,9; 6271,3; 3678506,8; 353; 14598,8; 4594,9; 1338,6; 157910,2; 2; 1,2); Івано-Франківська (0; 767; 16716; 133; 2679; 631,2; 1280,5; 43,8; 93,8; 7996; 50472,1; 4531,7; 471719,9; 253,5; 11753,1; 1692,6; 520,9; 40636,3; 3,7; 37,2); Київська (0; 1292; 20511; 122; 3351; 1514,7; 3219; 49,4; 367,1; 18676; 40271,5; 19462,7; 1973749,9; 277,3;

8714,7; 2427,8; 536,5; 41702,5; 3,3; 108,9); Кіровоградська (0; 528; 10562; 119; 2608; 109,3; 585,8; 37; 103,3; 7381; 14416,7; 3039,5; 857324,6; 73,8; 1763,3; 38934,9; 18292,1; 291142,6; 1,5; 9,7); Луганська (0; 2578; 20531; 152; 3337; 178,2; 1656,7; 66,3; 336; 11385; 67806; 11110,9; 3544014,9; 522,4; 22394; 17838,6; 5305,4; 1539532,1; 4,6; 10,5); Львівська (0; 633; 29542; 247; 2789; 675,1; 2420,6; 84,3; 356,3; 18762; 30786,8; 8803,2; 1290873,7; 238,4; 5627,6; 2652,3; 164,2; 219908,2; 3,8; 53,7); Миколаївська (0; 580; 13043; 102; 3094; 122,1; 975,4; 42,6; 134,9; 10767; 21702,3; 4603,8; 2174097,7; 83; 3009,6; 2476,3; 111,7; 46413,1; 0,7; 1,8); Одеська (0; 3248; 29075; 244; 2947; 637,3; 4258,7; 59,5; 352; 26016; 25041,1; 10415,4; 1628431,2; 164,8; 5440,4; 720,5; 26,6; 1891,8; 2,3; 6,9); Полтавська (0; 1000; 14296; 79; 2988; 197,6; 3565,7; 57,7; 233,6; 10129; 65466,7; 8398,8; 2654641,1; 176,6; 4784,1; 5898,9; 4365,2; 25628,3; 2,4; 28,8); Рівненська (2889; 245; 17445; 138; 2844; 269,5; 1350,2; 51,4; 92,5; 5174; 14483,4; 2673,3; 482649,1; 56,1; 1914,6; 1587,1; 57,1; 28206; 6,7; 45,5); Сумська (0; 118; 10411; 67; 2702; 142,6; 777,7; 42,8; 125,5; 5817; 22391,2; 2496; 294718,6; 77,5; 2227,6; 768,2; 253,8; 30391,1; 2,4; 66,6); Тернопільська (0; 108; 11807; 81; 2359; 395,4; 689,8; 46,2; 82,8; 5234; 7612,4; 2830,6; 365085,6; 57,7; 1264,3; 690,2; 195,7; 289,9; 0,8; 16,3); Харківська (0; 3847; 26700; 195; 2975; 392,2; 3910,8; 87,8; 440,4; 26086; 63007,2; 8435; 1986810,9; 328,5; 13350,1; 2179,5; 281,4; 42480,8; 1,4; 38,8); Херсонська (0; 228; 12300; 116; 2464; 190,3; 548,9; 44,4; 95; 8104; 10834; 1934,2; 369051,4; 72,7; 1236; 439,4; 94,2; 883; 1,3; 0); Хмельницька (0; 232; 14548; 104; 2641; 290,2; 956,4; 49,9; 115; 6925; 16615,7; 3144; 488973,2; 80,7; 3007,5; 1111,6; 492,2; 7686,2; 1,4; 28,1); Черкаська (0; 688; 12100; 89; 2682; 128,7; 891,3; 55,2; 144,4; 7931; 28242,2; 3041; 770714; 150,1; 3787,3; 1029,8; 784,2; 4308,6; 1,7; 6,2); Чернівецька (0; 719; 11465; 88; 2484; 340,5; 900,7; 31,4; 56,2; 4160; 4013,7; 2127,2; 125316,4; 39; 700,4; 415,9; 90,8; 2416,5; 2,9; 54,40); Чернігівська (0; 513; 9852; 77; 2504; 190,9; 470,9; 48,4; 109,1; 6220; 14085,3; 2586,8; 555096,5; 91; 2403; 674,7; 233,4; 9891; 4,1; 148,1) [4].

За методикою компараторної ідентифікації екологічного стану областей отримано рейтинг, результати порівняно з даними оцінки стану екологічної безпеки областей України за значенням інтегрального показника ризику і відповідністю їх трьом класам небезпеки [1, 3] (табл. 1).

Таблиця 1. Аналіз результатів екологічного рейтингу за методикою [1]

Отриманий рейтинг	Клас небезпеки за [5]	Отриманий рейтинг	Клас небезпеки за [5]
1. Донецька	високий	14. Чернівецька	низький
2. Дніпропетровська	високий	15. Закарпатська	низький
3. Харківська	середній	16. Черкаська	низький
4. Київська	високий	17. Рівненська	низький
5. Автономна Республіка Крим	середній	18. Волинська	низький
6. Одеська	середній	19. Житомирська	низький
7. Полтавська	середній	20. Сумська	низький
8. Львівська	середній	21. Хмельницька	низький
9. Запорізька	середній	22. Тернопільська	низький
10. Луганська	високий	23. Кіровоградська	низький
11. Вінницька	низький	24. Чернігівська	низький
12. Миколаївська	низький	25. Херсонська	низький
13. Івано-Франківська	середній		

Наданий рейтинг дозволяє отримати інформацію щодо стану екологічної небезпеки регіонів, як небезпечних і найбільш придатних для життя.

У цілому, отримані результати за компараторною ідентифікацією рівня екологічності визначених об'єктів відповідають даним оцінки стану регіонів у роботі Качинського А. Б. [5].

Для удосконалення практичної здатності аналізу і підняття реальності отриманих результатів впроваджено додатково методіку головних компонент, що дозволило виділити 20 перших компонент (рис. 2). За своєю природою рішення про вибір кількості головних компонент є довільним, однак за прийнятими рекомендаціями з метою отримання кращих результатів у роботі використано критерій Кайзера.

Відповідно до критерію виділяються лише фактори за значенням більші 1, у даному випадку головні компоненти 1–5 (рис. 2), що пояснюють майже 91% загальної дисперсії.

Value number	Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	12,01943	60,09717	12,01943	60,0972
2	2,27842	11,39209	14,29785	71,4893
3	1,61762	8,08808	15,91547	79,5773
4	1,26145	6,30727	17,17692	85,8846
5	1,01966	5,09831	18,19659	90,9829
6	0,67956	3,39778	18,87614	94,3807
7	0,45822	2,29108	19,33436	96,6718
8	0,22171	1,10853	19,55606	97,7803
9	0,17001	0,85005	19,72607	98,6304
10	0,09638	0,48190	19,82245	99,1123
11	0,05916	0,29578	19,88161	99,4081
12	0,05084	0,25418	19,93245	99,6622
13	0,02088	0,10439	19,95332	99,7666
14	0,01868	0,09339	19,97200	99,8600
15	0,01443	0,07217	19,98644	99,9322
16	0,00574	0,02870	19,99217	99,9609
17	0,00396	0,01982	19,99614	99,9807
18	0,00328	0,01640	19,99942	99,9971
19	0,00039	0,00197	19,99981	99,9991
20	0,00019	0,00094	20,00000	100,0000

Рис. 2. Головні компоненти

Аналіз з оцінки головних компонент встановив такі закономірності: перша головна компонента корелює з параметрами 3, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 17, друга – з 6, 16, 18, п'ята – з 1, третя та четверта компонента не мають сильних зв'язків з жодним з параметрів (рис. 3).

Variable	Factor coordinates of the variables, based on correlations (Spreadsheet)																			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10	Factor 11	Factor 12	Factor 13	Factor 14	Factor 15	Factor 16	Factor 17	Factor 18	Factor 19	Factor 20
1	-0,209452	-0,098979	-0,436020	0,359173	0,764234	-0,027783	0,070961	-0,188015	-0,037246	-0,000527	-0,018897	-0,011280	0,005478	0,008815	0,001489	0,002250	0,004029	-0,001145	0,000025	-0,000110
2	0,446200	0,451899	0,362864	-0,311572	0,165896	0,539362	0,098381	-0,081914	-0,181721	0,000906	-0,010395	0,005989	-0,004523	-0,003629	0,003300	-0,004534	-0,009495	0,002468	-0,000760	0,000102
3	0,900703	0,231831	-0,048502	0,021781	0,247897	0,087695	-0,171697	0,138673	0,052716	0,026195	0,008842	-0,052303	-0,028500	-0,067024	-0,041914	0,025716	0,009428	0,014044	-0,001181	-0,000756
4	-0,874868	-0,186168	0,120833	-0,258903	-0,126345	-0,036172	0,259880	-0,095260	0,021028	-0,082086	-0,056342	-0,114042	0,026799	-0,000592	-0,027441	0,004692	0,015620	0,019080	-0,001318	-0,000904
5	0,838138	0,213920	-0,032457	0,061319	-0,051065	-0,022801	0,450865	-0,035312	0,169516	0,098272	0,019596	-0,011031	-0,061180	0,000512	0,005374	-0,003862	-0,008833	-0,000814	-0,001145	-0,000066
6	0,215508	0,658185	-0,044522	-0,445421	0,256265	-0,485459	0,010251	0,096815	-0,071567	-0,009486	-0,057918	-0,008461	0,001610	0,002969	0,006199	-0,014253	-0,015061	0,005247	-0,000337	0,000091
7	0,920708	0,253147	0,006250	0,037023	-0,016309	-0,003687	-0,052600	-0,084268	0,097106	-0,246498	0,014801	0,047208	-0,037700	0,019562	-0,020439	-0,000943	-0,003123	0,000327	-0,000292	-0,000060
8	-0,905299	-0,090876	0,157930	-0,237958	0,137547	-0,061148	0,203394	0,038024	0,014644	0,004298	-0,025788	0,146264	0,013073	-0,017376	-0,037064	0,029252	0,008866	-0,009744	-0,001262	-0,000071
9	0,983541	0,094882	-0,036505	-0,021721	-0,045358	0,023691	-0,024651	-0,042104	0,072966	0,023697	-0,015392	-0,046823	0,066729	0,037822	-0,018331	0,036787	-0,028658	-0,011312	-0,000000	0,002064
10	0,876354	0,306190	0,152427	-0,166295	0,085298	0,094030	-0,129882	-0,064696	0,188809	0,070588	-0,075060	0,035966	0,038633	0,024177	0,008777	-0,016762	0,030755	0,001222	0,000483	-0,001254
11	0,949797	-0,195434	-0,080753	0,062417	-0,122166	-0,017100	0,087856	-0,023682	-0,026741	-0,063055	-0,113171	-0,012264	0,011109	-0,077509	0,038172	0,001350	0,002058	-0,023068	0,001641	0,000717
12	0,913473	0,263508	-0,014172	-0,138442	0,004424	-0,153156	0,139325	-0,007992	-0,090289	-0,024955	0,148703	-0,019208	0,033013	-0,000687	0,018590	0,012345	0,029096	-0,010540	0,002907	0,000306
13	0,946139	-0,164310	-0,100286	0,172798	-0,091515	-0,052080	0,092566	-0,058342	-0,014466	0,008889	0,042065	0,067276	0,065710	-0,044403	-0,021677	-0,024326	-0,014158	0,026885	0,000374	-0,000305
14	-0,949016	0,087201	0,135972	-0,168152	0,149323	0,062007	-0,019185	-0,028663	0,124395	-0,011242	0,029605	-0,010091	0,000723	-0,026549	0,005793	-0,004109	-0,008660	0,002332	0,014998	0,004581
15	-0,920509	0,031634	0,130456	-0,240600	0,186060	0,041698	-0,065491	-0,044336	0,149039	-0,026057	0,083592	-0,029073	0,026329	-0,042064	0,015488	-0,014680	-0,012427	-0,015944	-0,009301	-0,002262
16	-0,686927	0,615951	0,034596	0,356738	-0,135397	0,001641	0,028918	-0,010043	-0,010623	-0,000149	-0,009801	-0,008430	0,015244	-0,007322	-0,014152	-0,002306	-0,005272	-0,008478	0,006029	-0,009852
17	0,635380	-0,644380	-0,011693	-0,382587	0,147027	0,006791	-0,020755	0,007292	0,028662	-0,012264	0,010346	0,017325	-0,012132	0,011044	0,047614	0,019433	-0,009088	0,014833	0,003467	-0,007114
18	-0,762813	0,558710	0,077084	0,262113	-0,100697	-0,015053	-0,005238	-0,037983	0,034402	-0,019488	-0,008834	0,029913	0,010181	-0,012177	0,066214	0,029121	0,000751	0,023464	-0,003982	0,002309
19	-0,340783	0,163180	-0,814718	-0,111598	0,004658	0,311617	0,140600	0,239118	0,048363	-0,058560	-0,005385	0,006810	0,026910	0,014637	0,010560	-0,007038	0,001772	0,001120	0,000033	0,000106
20	-0,308197	0,212836	-0,709311	-0,410006	-0,321859	-0,010130	-0,142300	-0,242550	-0,026991	0,058658	0,007083	0,018023	-0,024113	-0,019834	-0,011376	0,008004	0,000797	-0,000173	-0,000021	-0,000194

Рис. 3 Факторні координати параметрів відповідно до кореляції

Отриману інформацію використовуємо для компараторної ідентифікації екологічності, залучивши до аналізу лише ті параметри, що пока-

зали високий рівень кореляції з обраними головними компонентами, тобто 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, і маємо більш досконалий рейтинг (табл. 2).

Таблиця 2. Аналіз отриманих результатів за удосконаленою методикою

Отриманий рейтинг	Клас небезпеки [5]	Рейтинг	Клас небезпеки [5]
1. Донецька	високий	14. Черкаська	низький
2. Дніпропетровська	високий	15. Рівненська	низький
3. Харківська	середній	16. Хмельницька	низький
4. Луганська	високий	17. Кіровоградська	низький
5. Одеська	середній	18. Сумська	низький
6. Київська	високий	19. Закарпатська	низький
7. Львівська	середній	20. Волинська	низький
8. Запорізька	середній	21. Житомирська	низький
9. Полтавська	середній	22. Чернігівська	низький
10. АР Крим	середній	23. Херсонська	низький
11. Вінницька	низький	24. Тернопільська	низький
12. Миколаївська	низький	25. Чернівецька	низький
13. Івано-Франківська	середній		

У цілому рейтинг не зазнав значних змін, однак Луганська область, що характеризується високим рівнем ризику [3], в оновленому рейтингу небезпечності регіонів піднялася з 10 позиції на 4, що свідчить про покращення отриманих результатів.

Висновки та перспективи досліджень.

Впровадження удосконалень у запропоновану методику оцінки якості складних соціально-еколого-економічних об'єктів дозволяє підвищити адекватність кінцевих результатів за рахунок відокремлення даних, що становлять інформаційний шум.

У роботі отримано такі результати дослідження:

1) за оцінкою результатів компараторної ідентифікації екологічності стану складних об'єктів регіонального рівня [1] (табл. 1) визначено за необхідне додатковий аналіз вихідної інформації з метою відсіювання шуму і формування вагомих параметрів регулювання стану систем;

2) надано аналіз методу головних компонент, впроваджено його у запропоновану методику (рис. 1–2);

3) надано алгоритмічне забезпечення комплексного методичного забезпечення оцінки екологічності системних об'єктів (рис. 1);

4) встановлено підвищення адекватності отриманих практичних результатів при комплексуванні методик для визначення екологічного рейтингу на прикладі оцінки екологічного стану областей України.

Враховуючи отримані результати, визначено, що розробка комплексної системи аналізу і оцінки вихідної інформації щодо стану системних об'єктів збільшення кількості досліджуваних параметрів при використанні методу головних компонент сприятиме подальшому підвищенню адекватності отримуваного рейтингу та його достовірності.

Список літератури: 1. Козуля Т. В., Белова М. А. Обоснование методики компараторной идентификации для системы экологического мониторинга на региональном уровне исследования / Козуля Т. В., Белова М. А. – Проблемы інформаційних технологій. – 2013. – № 02 (014). – С. 45–49. 2. Российское хемометрическое общество. Метод главных компонент [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://chemometrics.ru/materials/textbooks/pca.htm> 3. STATISTICA. Версия 6.1. Системный подход к анализу данных [Електронний ресурс]. – StatSoft Russia. – Режим доступу: <http://www.statsoft.ru>. 4. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> 5. Качинський А. Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення / А. Б. Качинський. – К.: Екологічна безпека, 2001. – 251 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kozulya T. V., Bilova M. O. Obosnovaniye metodiki komparatornoy identifikatsii dlya sistemy ekologicheskogo monitoringa na regional'nom urovne issledovaniya / Kozulya T. V., Bilova M. O. – Problemi informatsiynikh tekhnologiy. – 2013. – No. 02 (014). – P. 45–49. 2. Rossiyskoye khemometricheskoye obshchestvo. Metod glavnikh komponent [Yeletkronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://chemometrics.ru/materials/textbooks/pca.htm> 3. STATISTISA. Versiya 6.1. Sistemnyy podkhod k analizu dannykh [Yeletkronniy resurs]. – StatSoft Russia. – Rezhim dostup: <http://www.statsoft.ru>. 4. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraïni [Yeletkronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua/> 5. Kachins'kiy A.B. Yekologichna bezpeka Ukraini: sistemniy analiz perspektiv pokrashchennya / A.B. Kachins'kiy. – Kyiv: Yekologichna bezpeka, 2001. – 251 p.

Надійшла (received) 27.10.14

Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА, аспірантка, НТУ «ХПІ»

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ПРИРОДНО- ТЕХНОГЕННИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті розроблено алгоритмічне забезпечення встановлення рівня екологічності систем на-вко-лишнього природного середовища і процесів в них. Надане алгоритмічне забезпечення дозволяє встановити негативні фактори порушення гомеостазу природно-техногенних комплексів, надати комплексну оцінку екологічної якості природно-техногенних об'єктів. Відповідно до алгоритму оцінки якості складного систем-системного утворення з використанням MIPS-чисел, ризик-характеристик щодо стану об'єктів і процесів, пов'язаних з порушенням їх екологічності, надано комплексну оцінку території дослідження. Комплексна оцінка екологічності на рівні системних об'єктів дозволяє при визначенні рівня безпечності ситуації за результатами моніторингу факторів порушення рівноваги урахувати трансформаційні процеси дестабілізації екологічної безпеки, що дає підстави для встановлення комплексного механізму управління якістю техногенно-навантажених територій.

Ключові слова: комплексна еколого-економічна оцінка, ризик-аналіз, MIPS-аналіз, ресурсоефективність, екологічне управління.

Вступ. Актуальність роботи полягає у необхідності вирішення проблеми отримання об'єктивної оцінки стану соціально-економічного, промислово-технологічного, еколого-економічного блоків природно-техногенних комплексів (ПТК), що становить міждисциплінарний характер дослідження системних об'єктів. Комплексність підходу до вивчення складних систем визначає за необхідне розгляд як стану складових об'єкта дослідження, так і процесів взаємодії між ними. Звідси доцільним є формування теоретично-практичної бази еколого-економічного аналізу і оцінки ПТК на основі комплексного методичного забезпечення моніторингових систем.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Багатогранність проблем комплексної еколого-економічної оцінки територій розглядається в публікаціях багатьох авторів, які пропонують різні підходи і методи її оцінки: Т. Акімова, В. Хаскин, В. Батонян, О. Моїсеєнков [1], М. М. Гузев [2]; С. А. Дятлов [3] та ін.

Мета і постановка задачі дослідження. Для вирішення задач з екологічної безпеки пропонується використовувати систем-системний

© Д.І. Ємельянова. 2014

підхід, який поєднує різні методи оцінки і прогнозування стану об'єктів навколишнього природного середовища (НПС) для отримання повного аналізу дослідження із урахуванням математичних моделей, сучасних методик оцінки впливу техногенних джерел на НПС і їх відповідності вимогам екологічної безпеки. Необхідність удосконалення традиційних підходів з оцінки небезпеки для навколишнього середовища і здоров'я людини у зв'язку з розвитком наукових знань у системі «соціально-економічна діяльність – природне середовище» становило основу для подальшого розвитку імовірнісних методів оцінки збитків і рівня екологічної безпеки на основі теорії ризиків, застосування ризик-аналізу.

Для комплексної оцінки екологічності і небезпечного впливу господарської діяльності на об'єкти природного середовища (атмосферне повітря, ґрунт, водні об'єкти) і здоров'я населення необхідна характеристика процесів і явищ, пов'язаних з життєвими умовами виробництва, що визначило доцільність застосування узагальнюючих методів екологічної оцінки – MIPS-аналізу.

Таким чином, **мета роботи** полягає в удосконаленні теоретичних, методичних положень комплексного екологічного аналізу щодо стану техногенно-навантажених територій на основі загальних однорідних за масштабністю і розмірністю показників екологічної відповідності в системі «техногенний об'єкт – НПС– людина».

Для розв'язання основної задачі дослідження поставлені такі питання:

1) надати узагальнюючу характеристику методичного забезпечення оцінки екологічності природно-техногенних комплексів рівня дослідження навколишнього середовища;

2) надати математичне і алгоритмічне забезпечення запропонованої системи комплексного оцінювання стану природно-техногенних комплексів і процесів в них, що впливають на загальний рівень екологічної безпеки навколишнього середовища;

Матеріали досліджень. На відміну від існуючих комплексних методологій оцінювання складних об'єктів таких як оцінка екологічної ємності територій Мусихіної Е. А. [4], еколого-економічна оцінка і дифере-

нціація територій як основи збереження біорізноманіття Жигальського О. А. [5] пропонується система, яка заснована на пропозиції прийняття динамічної природи природно-техногенних систем і процесів, що в них відбуваються, і слугують зв'язком із зовнішнім середовищем. Ядром розв'язання таких задач є аналіз порушень у стані систем, прояву процесів самоорганізації і самовільних змін впливів, що призводять до стабілізації чи реконструювання станів, остаточної характеристики досягнення об'єктом внутрішнього і зовнішнього гомеостазу.

Таким чином, кількісна характеристика такої оцінки має три складові: рівень екологічності еколого-економічної системи, ступінь розвитку дії факторів впливу і екологічна оцінка соціальної системи у вигляді сумарної індикаторної характеристики оцінка ризику здоров'ю населення [6].

Основною метою еколого-економічної складової комплексної оцінки екологічності є максимізація біологічної продуктивності екосистем і мінімізація порушень гомеостазу [7].

Визначальним методом узагальнюючої оцінки якості еколого-економічних систем в екологічному управлінні природно-техногенними комплексами є MIPS-аналіз, що являє собою інструмент оцінки коефективності [7]. Специфіка методу дозволяє виявити точки небезпечних екологічних впливів, що є основою визначення запобігання пошкоджень і зменшення витрат на відшкодування екологічних збитків.

У результаті MIPS-аналізу для оцінки превентивних заходів із захисту НПС приймаються до уваги не тільки небезпечні речовини, а усі матеріальні потоки з метою запобігання не лише відомих, але і ще не відомих проблем охорони навколишнього природного середовища. Перевагою MIPS-аналізу є здатність методу визначення небезпечності продукції на кожній стадії її життєвого циклу, конкретного чинника збільшення екологічних збитків.

MIPS-аналіз дозволяє встановити кількість використаних ресурсів, починаючи з моменту їх вилучення з природного середовища. Даний підхід дозволяє встановити не лише допустимий, а і абсолютно необхідний рівень екологізації виробничих процесів – поєднання виробничих і екологічних операцій у технологічному процесі виробництва і реалізації продукції.

Таким чином, за допомогою показника MIPS враховуються всі джерела споживання ресурсів на кожній стадії ЖЦ технологій, оцінюється потенційний вплив всього виробництва на глобальному рівні і завдяки цьому враховуються «експортовані» впровадження у НПС.

Основною метою соціально-екологічної складової комплексного аналізу ПТК є визначення екологічних ризиків у вигляді ступеню порушень за інтенсивністю дії джерела негативного впливу. Оцінка небезпечного екологічного об'єкту встановлюється за ризиком невідповідності природним якостям екосистем і ризику здоров'я населення. Екологічний ризик – це ймовірність виникнення несприятливих ефектів для існування екосистем та життєдіяльності суспільства, в тому числі для здоров'я населення, що призводять до необоротної деградації екосистеми, внаслідок антропогенного тиску на довкілля або впливу природних чинників [8].

Управління екологічним ризиком – це процес, що включає визначення небезпеки впливу і його наслідків для природних екосистем, людини і її життєдіяльності, обґрунтування критерію прийнятності ризику. Екологічний ризик у такому разі пов'язаний з розглядом термодинамічних структур в екологічних системах, дослідженням факторів самоорганізації складових і системи загалом (синергетика), аналізом вірогідності стабілізації стану як досягнення рівноваги в системі відповідно до другого закону термодинаміки.

Структура, функції та еволюція екосистем, що вміщують хімічні сполуки, залежать від обміну речовин та енергії з НПС, зв'язків між процесами, які збільшують або зменшують ентропію всередині даної екосистеми. При незворотних процесах характеристика будь-якої структури залежить від певних умов, а їх розвиток відбувається якісними стрибками (фазовими переходами), які відповідають проходженню певних порогових значень. Зростанню локальної ентропії сприяють хімічні перетворення речовин, біологічні процеси, швидкість яких є нелінійною функцією.

Таким чином формується комплексна модель екологічного ризику в системі «НПС – взаємодія – техногенний об'єкт» (рис. 1).

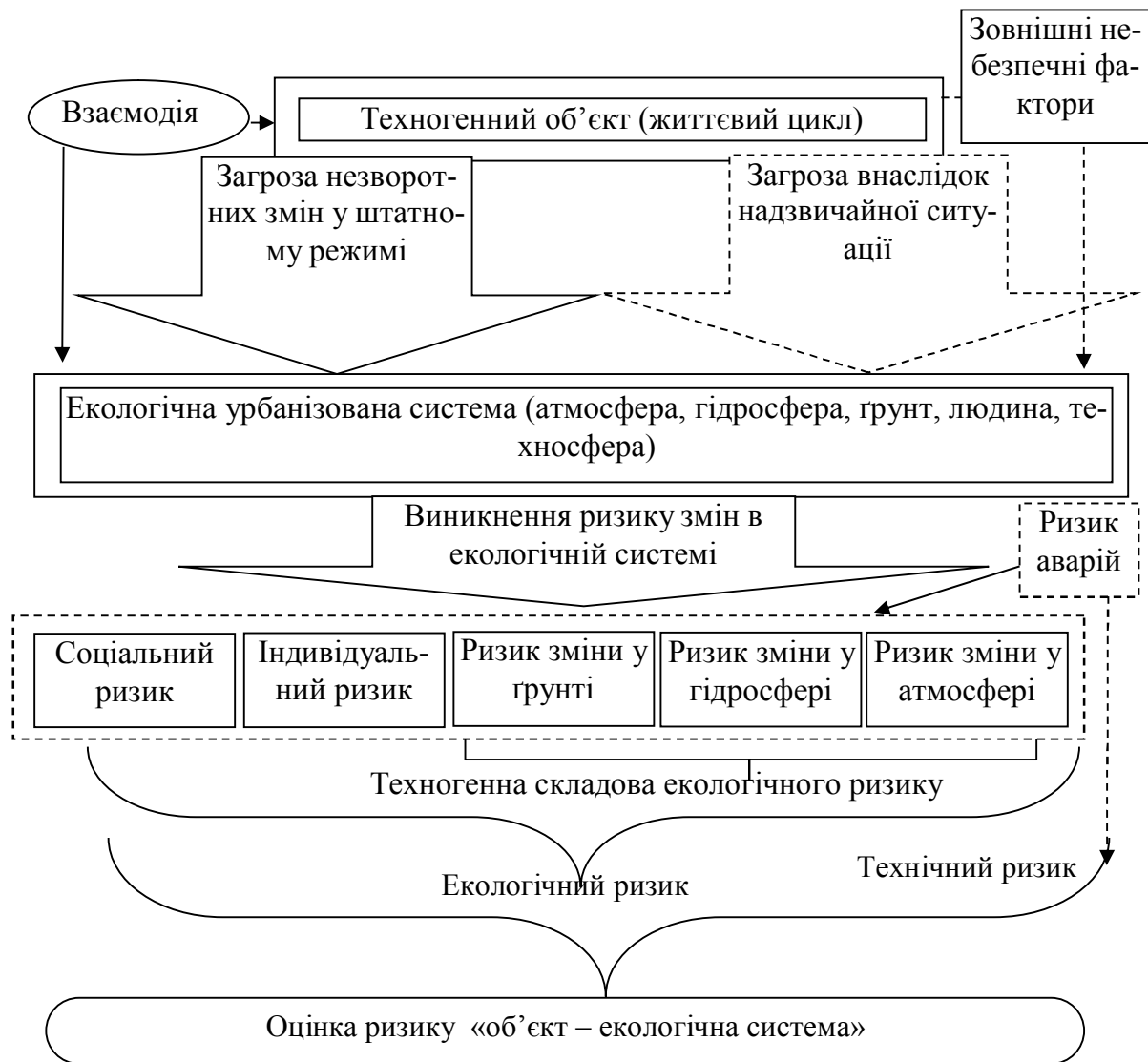


Рис. 1. Концептуальна модель виникнення ризиків змін в екологічній урбанізованій системі: подвійна лінія – взаємодіючі системи; безперервна лінія – характерні ознаки штатного режиму роботи об'єкта; пунктирна лінія – характерні ознаки надзвичайних ситуацій

Використання екосистемного підходу згідно концепції сталого розвитку забезпечує можливість створення універсального методу оцінки екологічного ризику природних утворень від техногенного навантаження на об'єкти НПС і стану здоров'я населення (рис. 2).

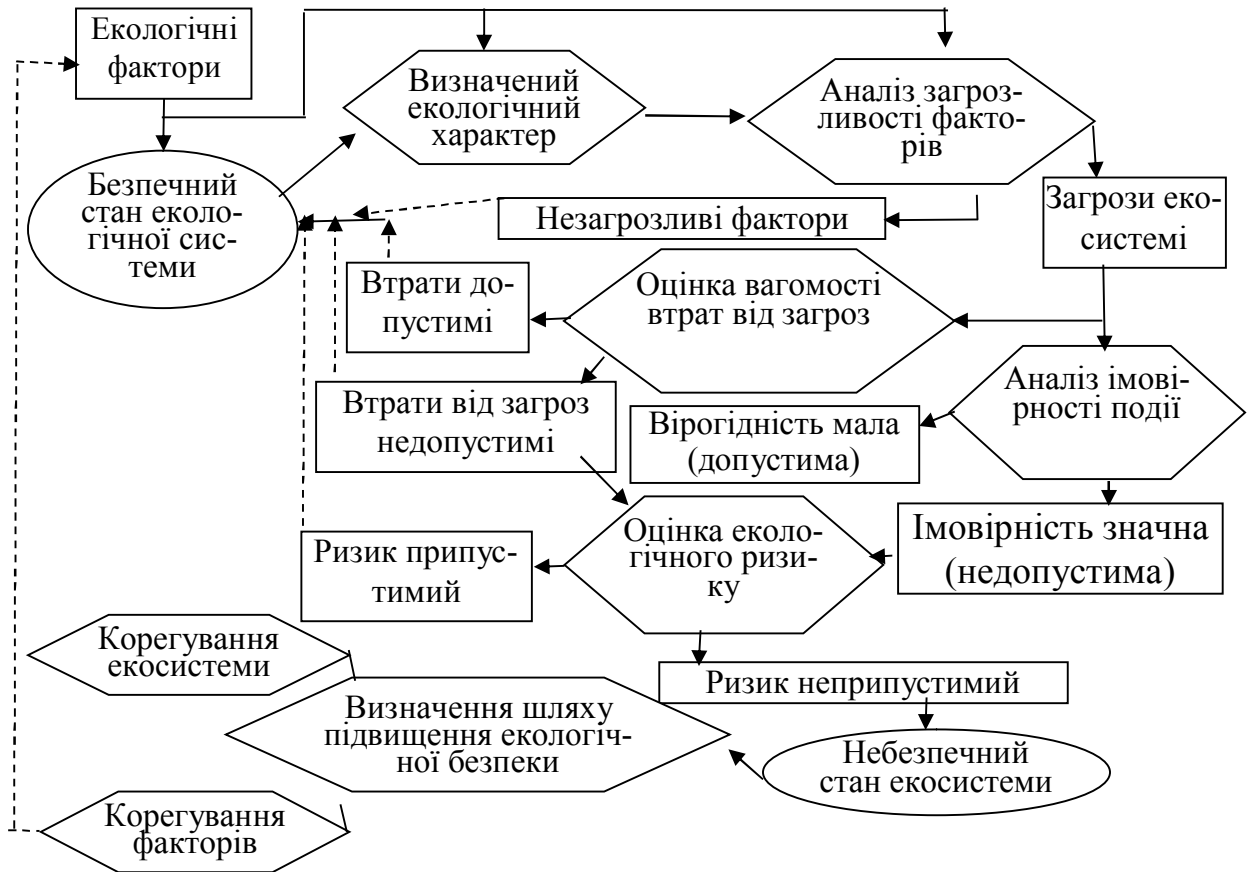


Рис. 2. Схема визначення екологічного ризику для об'єктів НПС

Комплексне використання MIPS-аналізу та визначення ризик-параметрів надає загальну характеристику впливу на об'єкти НПС і дозволяє визначити ймовірність появи небезпечного фактора дестабілізації стану НПС.

Опис територіально-об'єктових угруповань як системних об'єктів дослідження за методикою комплексної оцінки екологічності дозволяє при визначенні рівня безпечності ситуації за результатами моніторингу факторів порушення рівноваги урахувати вірогідність хіміко-трансформаційних перетворень в НПС для встановлення комплексного механізму управління якістю техногенно-навантажених територій з метою зменшення техногенних потоків (рис. 3, табл. 1).

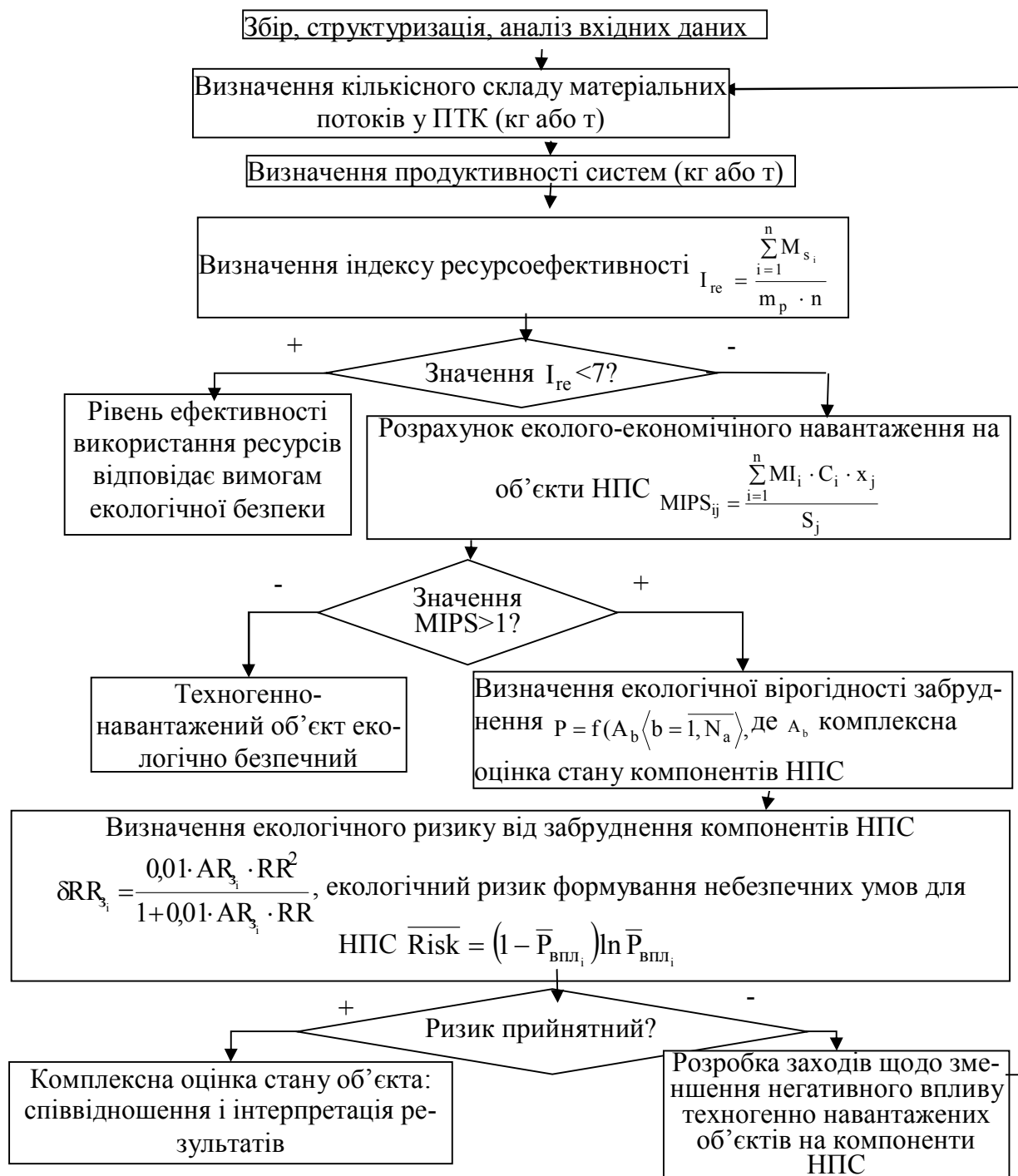


Рис. 3 Алгоритмічне забезпечення комплексної оцінки екологічності

Тобто, послідовність комплексного використання MIPS-аналізу та визначення ризик-параметрів впливу на об'єкти НПС з визначенням небезпечних факторів дестабілізації стану НПС здійснюється відповідно до запропонованого алгоритму (рис. 3, табл. 1).

Таблиця 1. Перелік позначень, наданих на рисунку 3

M_{s_i}	маса сировини i -го виду, що була витрачена на виготовлення одиниці продукції, за одиницю часу
m_p	маса одиниці продукції, кг
n	кількість одиниць продукції, виготовлених за одиницю часу
M_i	матеріальна інтенсивність i -ї забруднюючої речовини для k -го елемента НПС
C_i	концентрація i -ї забруднюючої речовини для k -го елемента НПС
x_j	загальна кількість викидів для j -го об'єкта дослідження
S_j	результати діяльності у вигляді продуктивності систем, кількості виготовленої продукції

Для оцінки рівня ресурсоефективності з використанням індексу I_{re} використовується наступна шкала (табл. 2).

Таблиця 2. Залежність значення I_{re} від рівня ефективності використання ресурсів

Величина I_{re}	Рівень ресурсоефективності
$I_{re} < 2$	дуже високий
$2 \leq I_{re} < 5$	високий
$5 \leq I_{re} < 7$	середній
$7 \leq I_{re} < 10$	низький
$I_{re} \geq 10$	дуже низький

На основі індексу ресурсоефективності, для приведення індексів до єдиної шкали оцінювання з межами від 0 до 1, пропонується використовувати унітарний індекс ресурсоефективності, на основі функції бажаності Харінгтону $J_{re} = \exp(-\exp(1,266 - 3,952 \cdot 10^{-1} \cdot I_{re}))$. Для практичної реалізації методики комплексної еколого-економічної оцінки техногенно-навантаженої території необхідно: 1. Привести критерії комплексної оцінки екологічності у показники, що мають однакову розмірність і інтервал можливих значень. 2. Порівняти кожен з показників з його гранично допустимим значенням. 3. Об'єднати всі показники в єдину комплексну оцінку. Таким чином, інформаційне забезпечення комплексної еколого-економічної оцінки стану ПТК дозволяє послідовно визначити значення екологічного, економічного та соціального показників, встановити відповідний напрям вдосконалення заходів щодо поліпшення стану об'єктів НПС. Застосування рекомендацій на техногенному об'єкті дозволить врівноважити співвідношення екологічного, економічного та соціального критеріїв між собою і добитися поліпшення загального стану ПТК.

Висновки. Таким чином, створення методології комплексної оцінки екологічності є актуальною задачею екологічного управління якістю НПС, спрямоване на удосконалення інформаційно-екологічної складової моніторингу НПС у вигляді: 1) формування моделі ПТК з усвідомлення еколого-соціально-економічної інформації й отримання екологічних знань для пошуку балансу між інтересами систем на рівні територіально-об'єктового угруповання; 2) визначення методичного забезпечення комплексної оцінки екологічності системного об'єкта дослідження з урахуванням взаємозв'язку між станом і процесами внутрішньої самоорганізації і зовнішнього зв'язку з НПС відповідно до правил системного гомеостазу.

Список літератури: 1. *Акімова Т.А.* Основные критерии экоразвития / *Т.А. Акімова* [и др.]. – М.: Из-во Рос. экоакадемии. 2009. – 54 с. 2. *Гузев М.М.* Экономические проблемы и механизмы экологически устойчивого развития. – Волгоград: Изд-во Волгоградского гос. ун-та. 2007. – 200 с. 3. *Дятлов С.А.* Информационная парадигма социально-экономического развития. Известия СПб университета экономики и финансов. – СПб.: Изд-во СПбУЭФ. 2008. – с. 3–4. 4. *Мусихина Е.А.* Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической ёмкости территорий. – М.: Изд-во «Академия Естествознания». 2009. – 137 с. 5. *Жигальский О.А.* Обоснование региональной сети экологически ценных территорий / *О.А. Жигальский* [и др.]. // Экология. 2003. – № 1. – с. 3-11. 6. *Згуровский М. З.* Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / *М.З. Згуровский, А.Д. Гвишиани*. – К.: Політехніка. 2008. – 331 с. 7. *Козуля Т. В.* Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем / *Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля* // Проблеми інформаційних технологій. 2012. – № 01 (011).– с. 37–45. 8. *Лисиченко Г.В.* Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / *Г.В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль* – К.: Наук. думка. 2008. – 543 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Akimova T.A.* Osnovnye kriterii jekorazvitija. – Moscow.: Iz-vo Ros jekoakademii. 2009. – 54 p. 2. *Guzev M.M.* Jekonomicheskie problemy i mehanizmy jekologichieski ustojchivogo razvitija. Volgograd: Izd-vo Volgogradskogo gos. un-ta. 2007. – 200 p. 3. *Djatlov S.A.* Informacionnaja paradigma social'no-jekonomicheskogo razvitija. Izvestija SPb universiteta jekonomiki i finansov. 2008. – P. 3–4. 4. *Musihina E.A.* Metodologicheskij aspekt tehnologii kompleksnoj ocenki jekologicheskoy jomkosti territorij. – Moscow: Izd-vo “Akademija Estestvoznaniya”. 2009. – 137 p. 5. *Zhigal'skij O.A.* Obosnovanie regional'noj seti jekologichieski cennyh territorij. Jekologija. 2003. – No. 1. – P. 3–11. 6. *Zgurovskij M.Z.* Global'noe modelirovanie processov ustojchivogo razvitija v kontekste kachestva i bezopasnosti zhizni ljudej. – Kiev: Politehnika. 2008. – 331 p. 7. *Kozulya T.V.* Teoretyko-praktychni osnovy metodolohiyi kompleksnoyi otsinky ekolohichnosti terytorial'nykh i ob"yektovykh system / *T.V. Kozulya, N.V. Sharonova, D.I. Yemel'yanova, M.M. Kozulya.* Problemy informatsiynykh tekhnolohij. 2012. – No. 01 (011).– P. 37–45. 8. *Lysyuchenko H.V.* Pryrodnyy, tekhnohennyy ta ekolohichnyy ryzyky: analiz, otsinka, upravlinnya. – Kiev: Nauk. dumka. 2008. – 543 p.

Надійшла (received) 28.10.14

В.Є. ВЕДЬ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;
А.М. МИРОНОВ, магістр, НТУ «ХП»

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ВУГЛЕВИПАЛЮВАННЯ І ПІРОЛІЗУ ДЕРЕВИНИ

Представлено історичний огляд розвитку способів вуглевипалювання. Розглянуто передумови для переходу між етапами технологій отримання деревного вугілля. Продемонстровано поступовість заміни старих способів вуглевипалювання більш актуальними методами піролізу деревини та деревних відходів. Наведено приклади використання деревного вугілля у житті сучасної людини. Показано його широке застосування у різних сферах народного господарства. Змальовано недоліки кустарних методів виробництва деревного вугілля. Означено проблеми, з якими стикаються виробники продуктів піролізу деревини. Встановлено необхідність створення більш досконалих технологій отримання деревного вугілля, які б забезпечували максимальну енергоефективність виробництва.

Ключові слова: деревина, вугілля, вуглевипалювання, піроліз, сушка.

Вступ. У останній час певна частина суспільства надає перевагу екологічно чистим продуктам. Існує світова тенденція попиту на чисту воду та свіже повітря. Застосування продуктів рослинного походження не завжди є виправданим через можливість утворення канцерогенів під час термообробки сировини. Доведено, що одним з найбільш вигідних палив з точки зору енергетичної цінності, є деревне вугілля як продукт піролізу (за відсутності домішкових сполук у початковій сировині) [1, 2].

Процес отримання вугілля з деревини методом впливу високих температур – одна з найдавніших технологій. Ще печерні люди використовували цей продукт, збираючи його на згарищах або виготовляючи спеціально. Та, швидше за все, метал уперше було виплавлено випадково, коли рудою виявилися камені, якими обкладали вогнище з тліючим вугіллям. Деревне вугілля, яке стало однією з причин розвитку цивілізації на початку Бронзового віку, отримало розповсюдження у чорній металургії і інших галузях, в тому числі у фармацевції та харчовій промисловості [3].

© В.Є. Ведь, А.М. Міронов. 2014

Формулювання цілей статті. У статті представлено історичний огляд технологій вуглевипалювання і піролізу деревини та деревних відходів. Також наведені приклади використання у житті сучасної людини деревного вугілля та розглянуто проблеми, з якими стикаються його виробники.

Викладення основної тематики. На слов'янських землях деревне вугілля виробляли з давніх давен, навіть існувала окрема професія вуглевипалювача, знана та поширена також в Європі та Азії.

Найбільш ранніми способами добутку вважаються ямне та кучне вуглевипалювання. Технології ці були настільки примітивні, що не було необхідності у додаткових матеріалах, крім води, дров та дерну, однак за тривалістю процес міг продовжуватися впродовж 3–4 тижнів. Крім того, був необхідним постійний контроль, а продукти розпаду, які складали до 2/3 від початкової маси сухої деревини, викидалися в атмосферу (рис. 1).



Рис. 1. Кучне вуглевипалювання

Масове виготовлення вугілля такими методами було можливо лише у XVII–XVIII століттях, коли густина населення була достатньо низькою, а багато територій ще не були освоєні. Однак, слід зазначити, що і в наш час у багатьох куточках Землі деревне вугілля виробляється саме такими методами. Натомість у Російській імперії вже у XIV столітті на деревному вугіллі у малих пічках «домницях» отримували «сиродутне залізо» [4].

На початку XVII століття на Уралі досягла значного ступеню розвитку чорна металургія та у зв'язку з цим – вуглевипалювання. Перший завод, що виробляє залізо, Ніцинський, з чотирма «домницями» було побудовано в 1630 році. З початком XVIII століття чорна металургія на Уралі стала розвиватися дуже швидко. Було побудовано багато казенних і приватновласницьких заводів, які виплавляли чавун у доменних пічках на деревному вугіллі та виробляли з нього кричне залізо на деревному паливі. Наприкінці XVIII століття на Уралі вироблялося на рік 167 тис. т чавуну, 73760 т кричного заліза та випалювалося 637 тис. т кучного деревного вугілля.

У першій половині XIX століття на рік випалювалось у середньому 4 млн. м³ вугілля [3]. У XIX столітті розвиток чорної металургії на Уралі продовжувався: кричний спосіб було замінено пудлингованям. Наприкінці цього століття, коли стало розвиватися чавунно-ливарне виробництво Демідових, з'явилися мартенівські печі. Петербург та Москва забезпечувалися чавунним литвом, яке було вироблено на уральських заводах, що працюють на деревному вугіллі. Випал вугілля, майже виключно кучного, дійшов до 830 тис. т на рік [3]. Дерево активно витрачалось на вугілля вуглевипалювачами, вирубувалися цілі ліси довкола міст. В кінці кінців, цареві Олексію Михайловичу довелося накласти заборону на вирубку дерев довкола Москви, щоб уникнути повного винищення лісів.

Періодично діючі камерні печі з'явилися у 1850-х роках, але у 1890 році за їх допомогою було випалено лише 20%, а кучним способом – 80% деревного вугілля. У 1890–1910 роках відбулася заміна кучного вугілля вугіллям з камерних печей. У 1910 році було випалено у пічах 80%, а кучним способом – 20% деревного вугілля; після цього кучне вуглевипалювання зовсім припинилося [3, 4].

У 1913 році було випалено максимальну за увесь час кількість деревного вугілля (6660 тис. м³ або біля 1 млн. т). Внаслідок першої імперіалістичної та громадянської війн темпи випалювання вугілля на Уралі різко зменшились. У 1920–21 роках було випалено 348 тис. м³ (біля 52,2 тис. т) деревного вугілля, а у 1934 році випал вугілля досяг максимуму – 6500 тис. м³ (біля 975 тис. т) [3, 4].

Слід відзначити, при встановленні Радянської влади промисловість занепала та відбулося повернення до вуглевипалювання кучним способом. Однак це тривало недовго, та невдовзі були побудовані найбільші вуглевипалювальні заводи (Амзя, Верхня Синячиха, Молома, Сява), які виробляли великі обсяги вугілля.

З 1951 року, внаслідок витіснення деревного вугілля більш дешевим коксом, було випалено лише 1600 тис. м³ (біля 240 тис. т) деревного вугілля [1, 5].

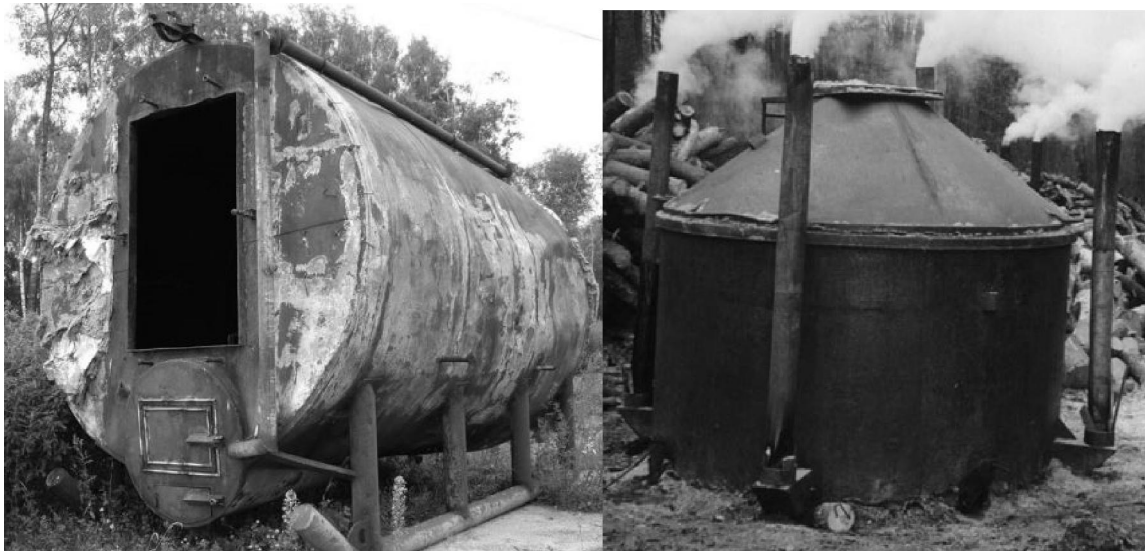
Деревне вугілля виробляли на Уралі в основному в періодично діючих камерних печах. Спроби випалювати його у безперервно діючих пічах, розпочаті на Уралі у 1914 році, досить довгий час були невдалі і тільки з середини п'ятдесятих років вугілля почали отримувати у спеціальних печах та у вагонних ретортах. За таких умов, разом з вугіллям, утворюються й рідкі продукти, тому вуглевипалювання переходить у суху перегонку деревини [1].

Кучне вуглевипалювання трималося на кріпосній праці. За великим рахунком, з відміною кріпосного права воно було замінено вуглевипалюванням у камерних печах, в котрих продуктивність праці вище, ніж при кучному вуглевипалюванні [3, 5].

Новий розвиток виробництва деревного вугілля почалося у період постперебудови, коли контролю над вирубками та станом екології практично не було. У атмосферу викидалися тонни шкідливих відходів. Підприємці встановлювали металічні печі, так звані «діжки», «каструлі», «ракети» тощо, усюди вирубували ліси та виробляли вугілля низької якості, яке усе одно користувалося великим попитом (рис. 2).

Наразі настав новий етап вуглевипалювання тому що деревне вугілля здобуло широке застосування у різних сферах народного господарства.

У якості палива для камінів, мангалів та інших подібних пристроїв. На відміну від звичайного палива (наприклад, дров), деревне вугілля не утворює диму та відкритого полум'я, а тільки дає необхідну температуру – жар. Причому для виготовлення різних страв не потрібно чекати, коли дрова перегорять, бо деревне вугілля це вже готове паливо.



а

б

Рис. 2. Печі періоду 1990-х років: а – «ракета»; б – «каструля»

У промисловості деревне вугілля використовується у кольоровій металургії (наприклад, для отримання алюмінію, бора та інших); у виробництві чистого кремнію, який використовується для отримання напівпровідників; у хімічній промисловості; в металургії (наприклад, як відновник – через високий вміст вуглецю у деревному вугіллі); у виробництві скла, кришталю, фарб, електродів, пластмас. При отриманні деревного вугілля утворюються рідкі побічні продукти у вигляді деревної смоли (дьюгтю), з якої отримують скіпідар, харчову оцтову кислоту, каніфоль, метиловий спирт, спиртові розчинники та багато іншого. У сільському господарстві – як добриво для землі, він допомагає їй отримувати мінерали, яких бракує. Подрібнене деревне вугілля використовується у вигляді кормової добавки у тваринництві.

У будівництві в якості ізоляційного матеріалу – тому що деревне вугілля дуже гігроскопічне та гарно поглинає запахи.

У якості антикорозійних порошоків та змащувачів деревне вугілля знаходить деяке застосування у приладобудуванні та у поліграфічному виробництві, де воно використовується для шліфування та полірування деталей та форм.

У виробництві димного пороху застосовується вугілля переважно з деревини вільхи або крушини із вмістом вуглецю 72–80%.

У виробництві електровугільних виробів, які застосовуються у багатьох галузях народного господарства – у електрооснащенні різних двигунів, у електричних машинах, для термічних цілей, у електровакуумній техніці тощо. Сюди ж відносяться усі види вугільних опорів, різні контакти, щітки, вироби для техніки, зв'язку та ін.

У якості наповнювача для пластмас вугілля може замінити коштовний графіт. Деревне вугілля є малозольним матеріалом, дуже чистим за наявністю сторонніх домішок. Він є стійким у хімічно агресивних середовищах та достатньо теплостійкий. Вугілля-сирець має високий питомий електричний опір.

У якості сировини для виробництва активованого вугілля – пористі вуглецеві тіла, які під час контакту з газоподібним або рідким середовищем утворюють значну площу поверхні для протікання сорбційного процесу.

Сучасні печі мають зовсім інший вигляд та якісне технічне забезпечення, яке дозволяє отримувати великі обсяги вугілля без втрат у якості продукту (рис. 3).



Рис. 3. Сучасна вуглевипалювальна піч виробництва ТОВ «GreenPower»

Кустарні методи вуглевипалювання не можуть забезпечити якісним продуктом потреби ринку через те, що:

1. Процес виробництва сильно залежить від зовнішніх чинників – погодних умов, взимку довге нагрівання, влітку довге охолодження тощо. Як наслідок – низька якість та нестабільні поставки споживачам.

2. Викиди у атмосферу не залишають байдужими як місцеве населення, так і правоохоронні органи, що призводить до позапланових зупинок.

3. Відсутність дозвільної документації також тягне за собою великі штрафи та систематичні перевірки відповідними інстанціями.

4. Низька якість деревного вугілля, внаслідок неконтрольованого процесу сушки та піролізу. Фізичні та хімічні показники кожної партії мають суттєві відмінності.

5. Низька механічна міцність призводить до того, що кінцевий споживач, не зважаючи на просіювання на підприємстві деревного вугілля, отримує вугілля з високим вмістом дрібної фракції.

6. Велика витрата деревини на тону продукції, низький відсотковий вихід деревного вугілля. Як наслідок низька рентабельність підприємства, навіть не дивлячись на наближеність до сировини.

7. Важкі умови праці. Цей чинник не дозволяє створити «адекватний» кваліфікований виробничий колектив. Як результат – проблеми з обслуговуючим персоналом (нестабільне відвідування, вживання спиртних напоїв та ін.).

8. Внаслідок величезних викидів у атмосферу, експлуатація біля населених пунктів неможлива. Це спричиняє проблеми з транспортом, для під'їзду на майданчик, а також неможливість створення ділянки фасування та складських приміщень.

Слід зазначити, що це лише мала доля усіх причин, чому «кустарне» вуглевипалювання є економічно недоцільним та призводить до негативних наслідків різного роду.

Висновки. Технології вуглевипалювання пройшли довгий та складний шлях разом з розвитком людської цивілізації. Деревне вугілля не тільки застосовувалося багатьма поколіннями наших пращурів, але не втратило своєї популярності і сьогодні.

Зараз виробництво вугілля вийшло на новий рівень, що потребує створення більш досконалих, грамотно організованих технологій і застосування матеріалів, які зможуть забезпечити максимальну енергоефективність та екологічну чистоту такого виробництва, котре буде в змозі задовільнити потреби та вимоги різних споживачів.

Наразі будівництво вуглевипалювальних підприємств є не тільки економічно доцільним, але й необхідним.

Список літератури: 1. Холина В.Н. Основы экономики природопользования. Учебник для вузов / В.Н. Холина – СПб: Питер, 2005. – 672 с. 2. Харламова М.Д. Экологически чистые технологии и производства. Теория и практика. Часть II. Прикладные аспекты / М.Д. Харламова, В.П. Зволинский, Д.А. Кривошеев – Москва: Российский университет дружбы народов, 2007. – 96 с. 3. Козлов В.Н. Технология пирогенетической переработки древесины / В.Н. Козлов, А.А. Нимвицкий – Москва-Ленинград: ГОСЛЕСБУМИЗДАТ, 1954. – 620 с. 4. Лукьянов П.М. История химических промыслов и химической промышленности России, т. III, гл.V / П.М. Лукьянов – М.: изд. АН СССР, 1951 – 436 с. 5. Бегунков О.И. Использование низкотемпературной древесины и отходов лесопромышленного производства. Практическое руководство. Под общей редакцией В.В. Шкутко / О.И.Бегунков, Н.В. Выводцев, В.В. Гурьев и др. – Хабаровск: Издательство ХГТУ, 2003 – 132 с.

Bibliography (transliterated): 1. Holina V.N. Osnovy jekonomiki prirodopol'zovanija. Uchebnik dlja vuzov / V.N. Holina – Sankt-Peterburg: Piter, 2005. – 672 p. 2. Harlamova M.D. Jekologicheski chistye tehnologii i proizvodstva. Teorija i praktika. Chast' II. Prikladnye aspekty / M.D. Harlamova, V.P. Zvolinskij, D.A. Krivosheev – Moscow: Rossijskij universitet družby narodov, 2007. – 96 p. 3. Kozlov V.N. Tehnologija pirogeneticheskoj pererabotki drevesiny / V.N. Kozlov, A.A. Nimvickij – Moscow-Leningrad: GOSLESBUMIZDAT, 1954. – 620 p. 4. Luk'janov P.M. Istorija himicheskikh promyslov i himicheskoi promyshlennosti Rossii, t. III, gl.V / P.M. Luk'janov – Moscow. : izd. AN SSSR, 1951 – 436 p. 5. Begunkov O.I. Ispol'zovanie nizkotemperaturnoj drevesiny i othodov lesopromyshlennogo proizvodstva. Prakticheskoe rukovodstvo. Pod obshhej redakciej V.V. Shkutko / O.I. Begunkov, N.V. Vyvodcev, V.V. Gur'ev i dr. – Habarovsk: Izdatel'stvo HG TU, 2003 – 132 p.

Надійшла (received) 21.06.2014

Л.М. УЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;
О.І. ХІМІЧ, аспірантка, НТУ «ХПІ»;
М.В. КАНИЩЕВ, аспірант, НТУ «ХПІ»

ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ПІНЧ-АНАЛІЗУ ПРОЦЕСУ АТМОСФЕРНОЇ ПЕРЕГОНКИ З БЛОКОМ ЕЛЗУ НА АВТ- А12/6 САРАТОВСЬКОГО НПЗ

У статті проведено обстеження установки переробки нафти на установці АВТ-А12/6 Саратовського НПЗ, визначені потоки, які будуть використані під час теплової інтеграції процесу. Аналіз схеми, що існує, показав, що в даний час в теплообмінній системі установки значна частина теплової енергії передається між теплоносіями в умовах перехресного теплообміну та перенесенні теплової енергії через пінч. Для схеми, що існує збудована сіткова діаграма.

Ключові слова: теплообмін, рекуперация, теплообмінник, нафта, пінч

Вступ. Науково-технічний прогрес, поліпшення якості продукції, поліпшення умов праці, інтенсифікація всього суспільного виробництва визначаються розвитком енергетики країни, основою якої є паливна база та підприємства з переробки палива [1]. Незважаючи на те, що встановлена потужність переробки підприємств є високою, реальна робоча потужність знижується. Виникає потреба в реабілітації існуючих установок і обладнання. Для виконання сучасних вимог існуючі установки піддаються реконструкції. Оптимізація роботи обладнання необхідна і з іншої причини. Існуючі заводи були спроектовані і побудовані за часів значно дешевшої, ніж зараз, енергії, тому актуальною є необхідність передбачити заходи щодо її економії [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Енергозбереження – організаційна, наукова, практична, інформаційна діяльність державних органів, юридичних і фізичних осіб, спрямована на зниження витрати (втрат) паливно-енергетичних ресурсів у процесі їх видобутку, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, використання та утилізації. Одним із дієвих способів зменшити вплив людини на природу є збільшення ефективності використання енергії [3].

© Л.М. Ульєв, О.І. Хімич, М.В. Каніщев. 2014

Справді, сучасна енергетика, заснована в першу чергу на використанні викопних видів палива (нафта, газ, вугілля), має найбільш масивний вплив на навколишнє середовище. Починаючи від видобутку, переробки і транспортування енергоресурсів і закінчуючи їх спалюванням для отримання тепла і електроенергії – все це дуже згубно відбивається на екологічному балансі планети. Питання підвищення енергоефективності економіки зараз є одним із найбільш наболілих для всіх країн без винятку [4]. Швидке зростання енергоспоживання викликано, насамперед постійним збільшенням світового виробництва, тому енергозбереження зараз стає одним з пріоритетів політики будь-якої компанії, що працює у сфері виробництва або сервісу. Нафтопереробні заводи (НПЗ) є найбільшими споживачами паливно-енергетичних ресурсів, в тому числі котельно-пічного палива, теплової та електричної енергії. Ефективність, раціональність їх використання в процесах переробки нафти визначається ефективністю роботи технологічного обладнання заводу. Однак технологічні установки діючих НПЗ – це, в основному, великотоннажні потужності, побудовані в більшості випадків багато років тому і не відповідають сучасним вимогам по якості продукції, безпеки, рівню автоматизації управління процесами і т. д. [5]. Підвищити рівень енергозбереження можливе за умови зменшення енергоємності виробництва, реконструкції НПЗ, підвищення глибини переробки нафти [6]. Тому одним з пріоритетних напрямів підвищення ефективності енергозбереження нафтопереробних виробництв є максимальне використання рекуперації теплоти і оптимізація режимів роботи технологічних установок.

Опис технологічного процесу і технологічної схеми установки. Комбінована установка ЕЛЗУ АВТ-А12/6 призначена для знесолення та зневоднення сирової нафти, атмосферної перегонки знесоленої нафти, вакуумної перегонки мазуту, стабілізації та вторинної перегонки бензину з метою отримання сировини для установок і отримання компонентів товарних нафтопродуктів. Установка ЕЛЗУ-АВТ-А12/6 включає в себе такі блоки: ЕЛЗУ – блок електрознесолення і зневоднення нафти; АТ – блок атмосферної перегонки знесоленої нафти; ВТ – блок вакуумної перегонки мазуту; Стабілізації та вторинної перегонки бензину; Очищення вуглеводневого газу водним розчином МЕА; Утилізації тепла (котли-утилізатори). З сирової нафти, що надходить на установку ЕЛЗУ-АВТ-

A12/6, на блоці знесолення видаляються хлористі солі, вода і механічні домішки. Знесолена і зневоднена нафта з блоку ЕЛЗУ за схемою прямого живлення надходить на атмосферне блок установки, де відбираються світлі фракції бензину, гасу, дизельного палива, а мазут подається на вакуумний блок для отримання вакуумного газойлю і гудрону.

Відбираються на блоці АТ, зверху колон К-1, К-2, бензинові фракції направляються на блок стабілізації. Сира нафта з резервуарів Р-1/1, Р-2/1 "Бази нафт" за двома трубопроводами, які об'єднуються в один трубопровід перед установкою ЕЛЗУ-АВТ-А12/6, надходить на прийом сировинних насосів Н-1/1,2,3. Є можливість подачі нафти й іншої вуглеводневої сировини (газовий конденсат, легка нафта) з резервуарів Р-26, Р-27, Р-28, Р-29, Р-30, Р-31 через установку ЕЛЗУ-5 у обидва трубопроводи подачі сировини на установку (рис. 1).

Від сировинних насосів нафту двома паралельними потоками для нагріву направляється в теплообмінники. Перший потік від насосів проходить трубний простір Т-1/1,2, Т-3, де за рахунок регенерації тепла верхнього циркуляційного зрошення колони К-10, фракції (350-420)°С. Другий потік від насосів проходить трубний простір теплообмінників Т-2/1, Т-4/1, Т-2/2, Т-4/2, де за рахунок регенерації тепла першого циркуляційного зрошення колони К-2, гудрону або мазуту (Т-2/1,2), другого циркуляційного зрошення колони К-2 (Т-4/1,2).

Для усереднення температури нафти перед електродегідраторами першого ступеня після теплообмінників Т-4/2 і Т-3,2 потоки сирої нафти об'єднуються.

Для підвищення ефективності знесолення нафти перед першою і другою ступенями електродегідраторов подається вода з ємності Е-20. Вода з низу ємності Е-20 насосами Н-31/1,2 прокачується через теплообмінник Т-57, де нагрівається сольовим розчином виведеним з установки з ємності Е-18 на очисні споруди, і подається на першу і другу сходинку електродегідраторів. У ємність Е-20 надходить технологічна вода (конденсат) з ємностей Е-1, Е-3, Е-6, Е-106. Далі нафту чотирма паралельними потоками надходить у електродегідратори першого ступеня Е-1/1, Е-2/1, Е-3/1, Е-4/1.

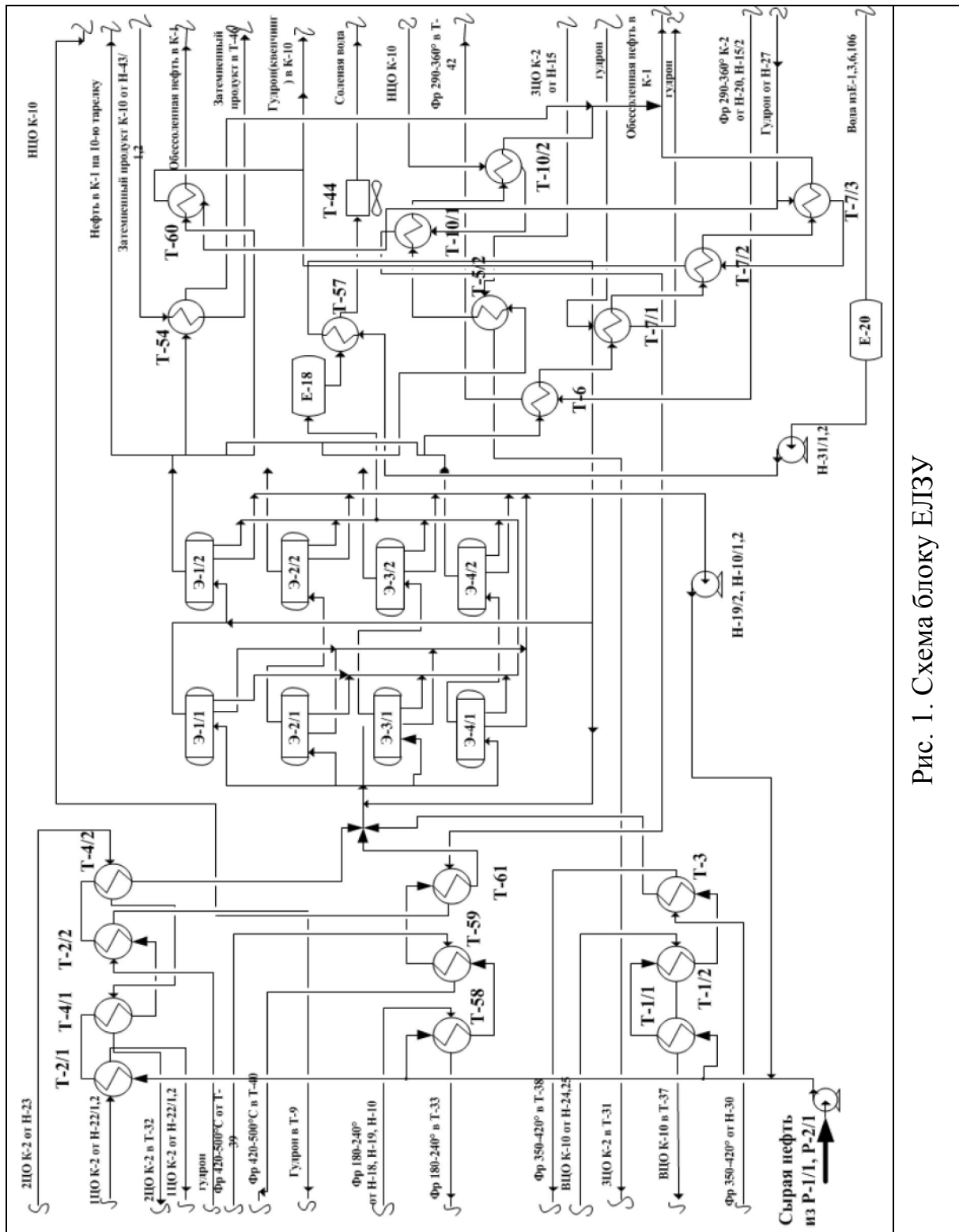


Рис. 1. Схема блока ЕЛЗУ

Знесолена і зневоднена нафта з електродегідраторов другого ступеня чотирма потоками надходить на блок теплообмінників для додаткового підігріву: перший потік надходить у міжтрубний простір теплообмінників Т-6, Т-7/1,2,3, де за рахунок регенерації фракції (290-360)°С з 42-й тарілки колони К-2 (Т-6), гудрону (мазуту) (Т-7/1,2,3) нагрівається і подається в колону К-1 під 17 тарілку; другий потік надходить у міжтрубний простір теплообмінників Т-5/1,2, Т-10/1,2 нагрівається і подається в колону К-1 під 17 тарілку; третій потік проходить міжтрубний простір теплообмінника Т-54, де нагрівається продуктом колони К-10, втягується в трубопроводи першого і другого потоку після теплообмінників Т-7/3 і Т-10/2; четвертий потік, крім блоку теплообмінників, надходить в колону К-1 на 10 тарілку (рис. 2).

У колоні попереднього випаровування К-1 відбувається випаровування легкокиплячих фракцій – газу, бензину та води. Зверху колони К-1 легкокиплячі фракції, через повітряні конденсатори-холодильники Т-15 / 1,2,3,4 надходять в компаблок-холодильника Т-15/5, де охолоджуються і конденсуються, потім надходять в ємність Е-1. У ємності Е-1 відбувається поділ бензину і води. Балансовий надлишок бензину з верхньої частини ємності Е-1 спільно з надлишком бензину з ємності Е-3, надходить через водяний холодильник Т-15А в ємність Е-6, так само в ємність Е-6 надходить по окремим трубопроводом бензин-відгін з установкиЛ-24-6.

В атмосферній колоні К-2 відбувається випаровування легкокиплячих фракцій - газу, бензину та води. Зверху колони К-2 головний погон в паровій фазі надходить в повітряні холодильники-конденсатори Т-17 / 1,2,3,4, Т-19/1.2, потім надходить у компаблок-холодильника Т-17/5 де, охолоджується, конденсується і надходить у ємність Е-3. У ємності Е-3 відбувається поділ бензину і води.

Перше циркуляційний зрошення з 15-ї тарілки атмосферній колоні К-2 прокачується через теплообмінник Т-2/1, де віддає тепло другому потоку сирової нафти, проходить через повітряні холодильники Т-30/1,2, де додатково охолоджується, і подається в колону К-2 на 14-у тарілку з двох сторін, під тарілку відбору фракції (120–180) °С.

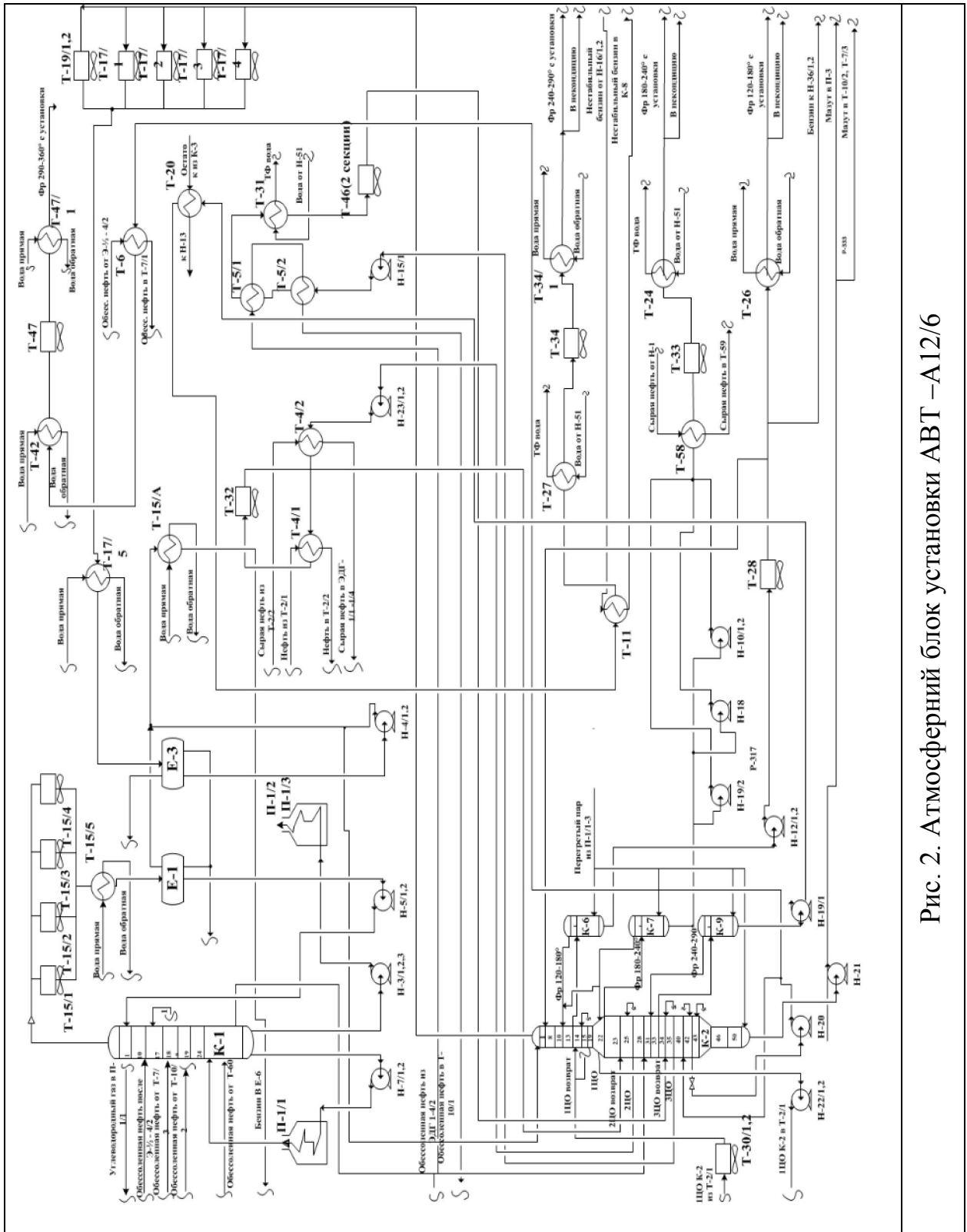


Рис. 2. Атмосферный блок установки АВТ –А12/6

Друге циркуляційний зрошення з 25-ї тарілки атмосферній колони К-2 прокачується через теплообмінники Т-4/1,2, де віддає тепло другому потоку сирої нафти, проходить через повітряний холодильник Т-32 і подається в колону К-2 на 23-ю тарілку з двох сторін під тарілку відбору фракції (180-240)°С

Третє циркуляційний зрошення з 35-ї тарілки атмосферній колони К-2 прокачується через теплообмінники Т-5/1,2, де віддає тепло другому потоку знесолоної нафти, через теплообмінник Т-31 де додатково охолоджується, і подається в колону К-2 на 34-ю тарілку з двох сторін, під тарілку відбору фракції (240-290)°С.

З атмосферної колони К-2 здійснюється виведення чотирьох фракцій у вигляді бічних погонів.

Виділення технологічних потоків для визначення енергозберігаючого потенціалу установки АВТ-А12/6. Збір даних, необхідних для розрахунку матеріального і теплового балансів, здійснювався шляхом прямих вимірювань температур і витрат потоків на устаткуванні за допомогою витратомірів, стаціонарних і переносних термометрів.

В ході такого обстеження установки були отримані дані, приведені нижче.

В інтеграції приймають участь 28 потоків, 19 гарячих та 9 холодних потоків.

1) Верх колони К-1. Виходить зверху К-1. Конденсується в повітряних холодильниках, охолоджується та направляється в ємність Е1 звідки подається в якості гострого зрошення в колону.

2) Верх колони К-2. Виходить зверху К-2. Конденсується в повітряних холодильниках, охолоджується та направляється в ємність Е3 звідки подається в якості гострого зрошення в колону К-2.

3) Суміш з Е1 і Е3. Балансовий надлишок бензину з ємності Е3 спільно з надлишком бензину ємності Е-1 через водяний холодильник виводяться в ємність Е6.

4) 1-е циркуляційне зрошення К-2. Виходить з 15-ої тарілки К-2, охолоджується і подається на чотирнадцятому тарілку К-2.

5) 2-е циркуляційне зрошення К-2. Виходить з 25-ми тарілки К-2,

оохолоджується і подається на двадцять третє тарілку К-2 з двох сторін, під тарілку відбору фракції (180–240)°С.

6) 3-є циркуляційне зрошення К-2. Виходить з 35-й тарілки К-2, оохолоджується і подається на 34 тарілку з двох сторін, під тарілку відбору фракції (240–290) °С.

7) Фр. 120–180 °С. Виходить з низу К-6, оохолоджується і виводиться з установки.

8) Фр. 180–240 °С. Виходить з низу К-7, оохолоджується і виводиться з установки.

9) Фр. 240–290 °С. Виходить з низу К-9, оохолоджується виводиться з установки.

10) Фр. 290–360 °С. Виходить з 35 тарілки К-2, оохолоджується і виводиться з установки по першому потоку виводу ДТ.

11) Фр. 350–420 °С. Виходить з низу колони К-11, оохолоджується і виводиться установки.

12) Фр. 420–500 °С. Виходить з кишені третьої глухий тарілки К-10, виводиться в ємність Е-12, потім оохолоджується і повертається в к. К-10 вище висновку фракції (420–500) °С

13) Верхнє циркуляційне зрошення К-10. Виходить з 25-ої тарілки К-10, оохолоджується і подається на 24 тарілку К-2.

14) Нижнє циркуляційне зрошення К-10. Виходить з 12-ої тарілки К-10, оохолоджується і подається на 11 тарілку К-2.

15, 16, 17) Гудрон. Виходить з низу К-10, оохолоджується і після Т-7/1 2 паралельні потоками виводиться для приготування бітуму і на секцію вісбрекінгу. Балансовий надлишок гудрону подається в Т-2/2, де оохолоджується. Потім проходить повітряний холодильник і виводиться з установки.

18) Затемнений продукт. Виходить з кишені четвертої глухий тарілки колони К-10, оохолоджується і виводиться з установки.

19) Сольовий р-р з ЕЛЗУ. Виходить з низу ємності Е-18, проходить, оохолоджується і виводиться з установки на очисні споруди.

20) Нафта до ЕД. Подається з резервуарів Р-1/1, Р-2/1, нагрівається і спрямовується на блок ЕЛОУ.

21, 22) Нафта після ЕД. Виходить з блоку ЕЛОУ, нагрівається і надходить у колону К-1.

23) Вода на ЕЛОУ. Виходить з низу ємності Е-20, нагрівається і подається на першу і другу сходинку електродегідраторов.

24) Гаряча струмінь К-1. Виходить знизу К-1, нагрівається і надходить назад у колону.

25) Гаряча струмінь К-2. Виходить знизу К-2, нагрівається і надходить назад у колону.

26) Теплофікаційних вода. Виходить з колектора, нагрівається і збирається знову в прямій колектор.

27) Нестабільний бензин. Бензин відгін від установки Л24-6 об'єднується з бензином з Е-1, Е-3 і надходить у ємність Е-6. Далі нагрівається і надходить у колону К-8.

28) Перетікання з К3 в К4. Виходить з верху К-3, потім змішуючись (суміш потоку вуглеводневого газу і бензинових парів) надходить на 60-ту тарілку ректифікаційної колони К-4.

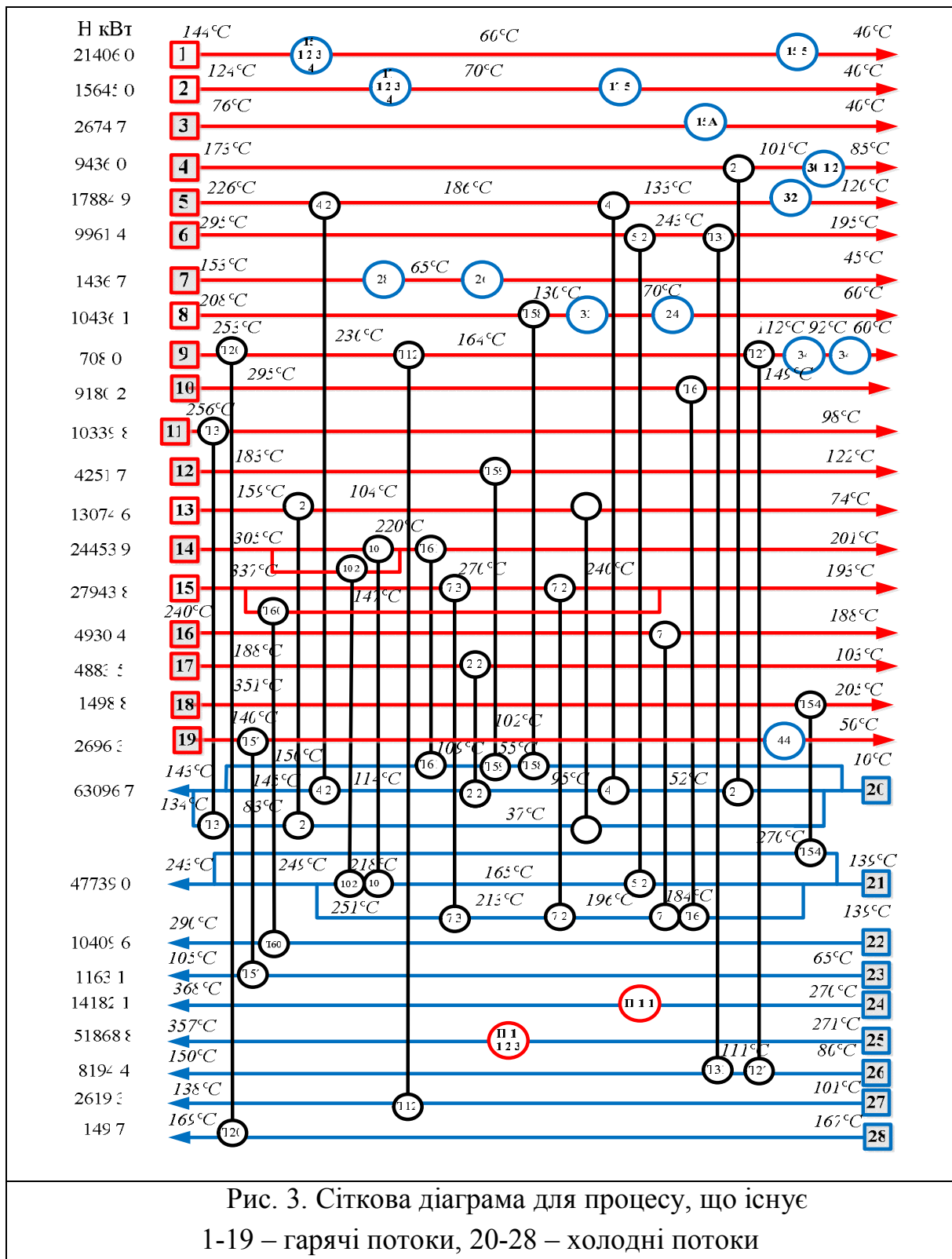
Визначення енергозберігаючого потенціалу для процесу, що існує. Використовуючи результати вивчення технологічної схеми, регламенту, матеріальний баланс установки, складається таблиця 1 поточкових даних [7]. У цілому, в розпорядженні є 19 гарячих технологічних потоків і 9 холодних потоків з певними поточковими даними.

Таблиця 1. Система потоків для аналізу енергоспоживання установки

№	Назва потоку	Тип	T _s , °C	T _t , °C	M, кг/с	C, кДж/(кг·К)	г, Дж/кг	CP, кВт/К	H, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Верх К-1 конд.	Г	144	144	43,19		310	13391,5	13391,5
	Охол.конд К-1	Г	144	60	43,19	2,22		95,8	8014,5
2	Верх К-2 конд.	Г	124	124	31,51		310	9770,0	9770,0
	Охол. конд К-2	Г	124	40	31,51	2,22		69,9	5875,0
3	Бал. надлишок К-1 і К-2	Г	76	40	31,23	2,38		74,3	2674,7
4	1 ЦО К-2	Г	173	85	46,53	2,32		107,7	9436,0
5	2 ЦО К-2	Г	226	120	69,44	2,44		169,4	17884,9

Продовження табл.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	3 ЦО К-2	Г	295	195	38,89	2,56		99,7	9961,4
7	Фр. 120-180°C	Г	153	110	15,27	2,18		33,3	1436,7
8	Фр. 180-240°C	Г	208	60	21,25	2,23		47,3	6989,7
9	Фр. 240-290°C	Г	253	60	22,22	2,41		53,6	10363,1
10	Фр. 290-360°C	Г	295	149	24,44	2,56		62,5	9180,2
11	Фр. 350-420°C	Г	256	98	25,00	2,62		65,5	10339,8
12	Фр. 420-500°C	Г	183	122	27,75	2,52		69,9	4251,7
13	ВЦО К-10	Г	159	74	61,60	2,50		154,0	13074,6
14	НЦО К-10	Г	305	201	97,19	2,42		234,9	24453,9
15	Гудрон 1	Г	337	193	76,04	2,55		194,1	27943,8
16	Гудрон 2	Г	240	188	36,94	2,55		94,3	4930,4
17	Гудрон 3	Г	188	103	22,70	2,55		57,9	4883,5
18	Затемнений продукт	Г	351	205	3,68	2,78		10,2	1498,8
19	Сольовий розчин	Г	140	50	7,19	4,19		30,1	2696,3
20	Нафта до ЕД	Х	10	143	232,2	2,05		476,2	63096,7
21	Нафта після ЕД	Х	139	243	184,8	2,48		459,0	47739,0
22	Нафта після ЕД	Х	139	290	27,76	2,48		69,0	10409,6
23	Вода на ЕЛЗУ	Х	65	105	6,94	4,19		29,1	1163,1
24	Гаряча стр. К-1	Х	269	368	51,60	2,79		144,3	14182,1
25	Гаряча стр. К-2	Х	271	357	206,0	2,92		601,7	51868,8
26	ТО вода	Х	80	150	27,78	4,19		116,4	8194,4
27	Нестабільний бензин	Х	101	138	31,23	3,01		94,0	3440,5
28	Перегік К3 в К4	Х	167	169	25,55	2,93		74,9	149,7

Використовуючи дані, отримані при обстеженні установки, будують сітковий діаграму процесу первинної переробки нафти, як показано на рис. 3. Після визначення та підсумовування теплових навантажень усіх теплообмінних апаратів отримано потужність рекуперації 135 557 кВт. Далі на підставі отриманих даних буде запропонована модернізація існуючого виробництва, що дозволить максимально використовувати вже встановлене обладнання, але в нових робочих мережах, що знижує інвестиції в реконструкцію.



Висновок.

В результаті проведеного обстеження установки атмосферної перегонки нафти за встановленими правилами були екстраговані потокові дані, систематизовані і занесені в таблицю.

На основі визначених потоків була побудована сіткова діаграма.

Підготовчий етап завершено успішно. В ході екстракції даних була отримана необхідна інформація, яка в подальшому буде використана для застосування пінч технологій на установці атмосферної перегонки з блоком ЕЛЗУ на АВТ-А12/6 Саратовського НПЗ.

Список літератури: 1. *Хорошко С.И.* Нефти северных регионов / *Хорошко С.И., Хорошко А.Н.* // Справочник. – Новополюцк. 2004. – с. 126. 2. Сайт Baltic News Network – 2011. <http://bnn-news.ru/v-litve-uzhe-vyikachivayut-neft-iz-novogo-mestorozhdeniya-50937>. 3. Экономика нефтяных месторождений – 2012. <http://ria.ru/economy/20120310/591149102.html>. 4. *Уильям Д. Леффлер.* Переработка нефти / *Уильям Д. Леффлер.* – Москва. 2004. – с. 223. 5. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев.* – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2000. – с. 402. 6. *С.Н. Свирская* Методическое пособие для студентов химического факультета. Нефть, нефтепереработка часть 1 / *С.Н. Свирская, И.Л. Трубников* – Ростов-на-Дону, 2002. – с. 30–37. 7. *Вержичинская С.В.* Химия и технология нефти и газа / *С.В. Вержичинская, С.А. Синицин.* – «Форум», 2009. – с. 130–139 .

Bibliography (transliterated): 1. *Horoshko S.I.* Nefti severnyih regionov / *Horoshko S.I. Horoshko A.N.* Spravochnik. – Novopolotsk. 2004. – P. 126. 2. <http://bnn-news.ru/v-litve-uzhe-vyikachivayut-neft-iz-novogo-mestorozhdeniya-50937>. 3. <http://ria.ru/economy/20120310/591149102.html>. 4. *Uilyam D. Leffler.* Pererabotka nefti / *Uilyam D. Leffler.* – Moscow. 2004. – P. 223. 5. *Smit R.* Osnovy integratsii teplovyih protsessov / *R. Smite, Y. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev.* – Kharkov: Izdatelskiy tsentr NTU «KhPI», 2000. – P. 402. 6. *S.N. Svirskaya* Metodicheskoe posobie dlya studentov himicheskogo fakulteta. Neft, neftepererabotka chast 1 / *S.N.Svirskaya, I.L.Trubnikov* – Rostov-na-Donu, 2002. – P. 30-37. 7. *Verzhichinskaya S.V.* Himiya i tehnologiya nefti i gaza / *S.V. Verzhichinskaya, S.A. Sinitsin.* – «Forum», 2009. – P. 130–139.

Надійшла (received) 05.09.14

Л.М. УЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;

М.О. КЕРЖАКОВА, аспірант НТУ «ХП»

ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАФТИ НА НАФТОВОМУ ПРОМИСЛІ

Стаття присвячена вивченню установки стабілізації нафти на нафтовому промислі. Легкі фракції нафти (вуглеводневі гази від етану до пентану) є цінною сировиною, з якого отримують такі продукти, як спирти, синтетичний каучук, розчинники, рідкі моторні палива, добрива, штучне волокно та інші продукти органічного синтезу, широко застосовуються в промисловості. Тому необхідно прагнути не тільки до зниження втрат легких фракцій з нафти, але і до збереження всіх вуглеводнів, видобутих з нафтоносного горизонту, для подальшої їх переробки. В статті наводиться короткий опис технологічного процесу стабілізації нафти. Визначені технологічні потоки і наведені їх основні характеристики. Складена таблиця поточкових даних і побудована сіткова діаграма існуючого процесу.

Ключові слова: стабілізація нафти, сіткова діаграма, потокова таблиця, утиліти, рекуперація тепла.

Вступ. У даний час в Україні в промисловій розробці знаходиться понад 250 нафтових і газових родовищ. Більшість з них мають початкові видобуті запаси природного газу в середньому на рівні 1,2 млрд. м³, нафти близько 700000 т. Шість найбільших нафтових родовищ, що мають початкові балансові запаси понад 35 млн. т, забезпечують близько 20 % усього видобутку нафти в Україні. За природному газу є чотири найбільших місця народження (з початковими балансовими запасами понад 100 млрд. м³), де видобувається близько 24 % всього обсягу. При цьому частка найбільших родовищ в загальному видобутку вуглеводнів з кожним роком зменшується.

Легкі фракції нафти (вуглеводневі гази від етану до пентану) є цінною сировиною, з якого отримують такі продукти, як спирти, синтетичний каучук, розчинники, рідкі моторні палива, добрива, штучне волокно та інші продукти органічного синтезу, широко застосовуються в промисловості. Тому необхідно прагнути не тільки до зниження втрат легких фракцій з нафти, але і до збереження всіх вуглеводнів, видобутих з наф-

тоносного горизонту, для подальшої їх переробки [1]. Причини, зазначені вище, показують на необхідність підготовки нафти до транспорту. Запобігти втрати нафти можна шляхом повної герметизації всіх шляхів руху нафти. Однак деяку недосконалість існуючих систем збору і транспорту нафти, резервуарів, технології наливу і зливу не дозволяє доставити нафту на переробку без втрати легких фракцій. Отже, необхідно газу та легкі фракції нафти відібрати в умовах нафтопромислу і направити їх для подальшої переробки. Основну боротьбу з втратами нафти необхідно починати з виходу її зі свердловини. Ліквідувати втрати легких фракцій нафти можна в основному застосуванням раціональних систем збору нафти і попутного нафтового газу, а також спорудженням установок по стабілізації нафти для її подальшого зберігання і транспорту [2].

Початкова технологічна схема одноколонної установки стабілізації нафти і її опис. Технологічна схема одноколонної установки стабілізації нафти приведена на рис. 1. Сира нафта, яка надходить з свердловини забирається сировинним насосом Н-1, прокачується через трубчасту піч П-1 і при температурі 143°C подається під верхню тарілку стабілізаційної колони РК-1. Ця колона обладнана тарілками жолобчастого типу (число тарілок може бути від 16 до 26), верхня з яких є відбійною, три нижніх – змішувальними.

Надмірний тиск у колоні від 0,2 до 0,4 МПа, що створює кращі умови для конденсації нафтових газів в сепараторі С-1. Нафта, переливаючись з тарілки на тарілку, зустрічає більш нагріті пари піднімаються і звільняються від легких фракцій. Температура низу колони підтримується в межах 130 – 150 °С за рахунок тепла стабільної нафти, що циркулює через змішувачі трубчастої печі П-1 [3].

Далі нафта проходить апарат повітряного охолодження Х-4 і надходить у резервуари стабільної нафти при температурі 15 °С, звідки вона і транспортується на нафтопереробні заводи.

Суміш газів і парів, що виходить з верху колони РК-1, надходить в установку компресора першого ступеня, в якій відбувається відділення газів і парів від несконденсованої частини в газосепараторі С-1.

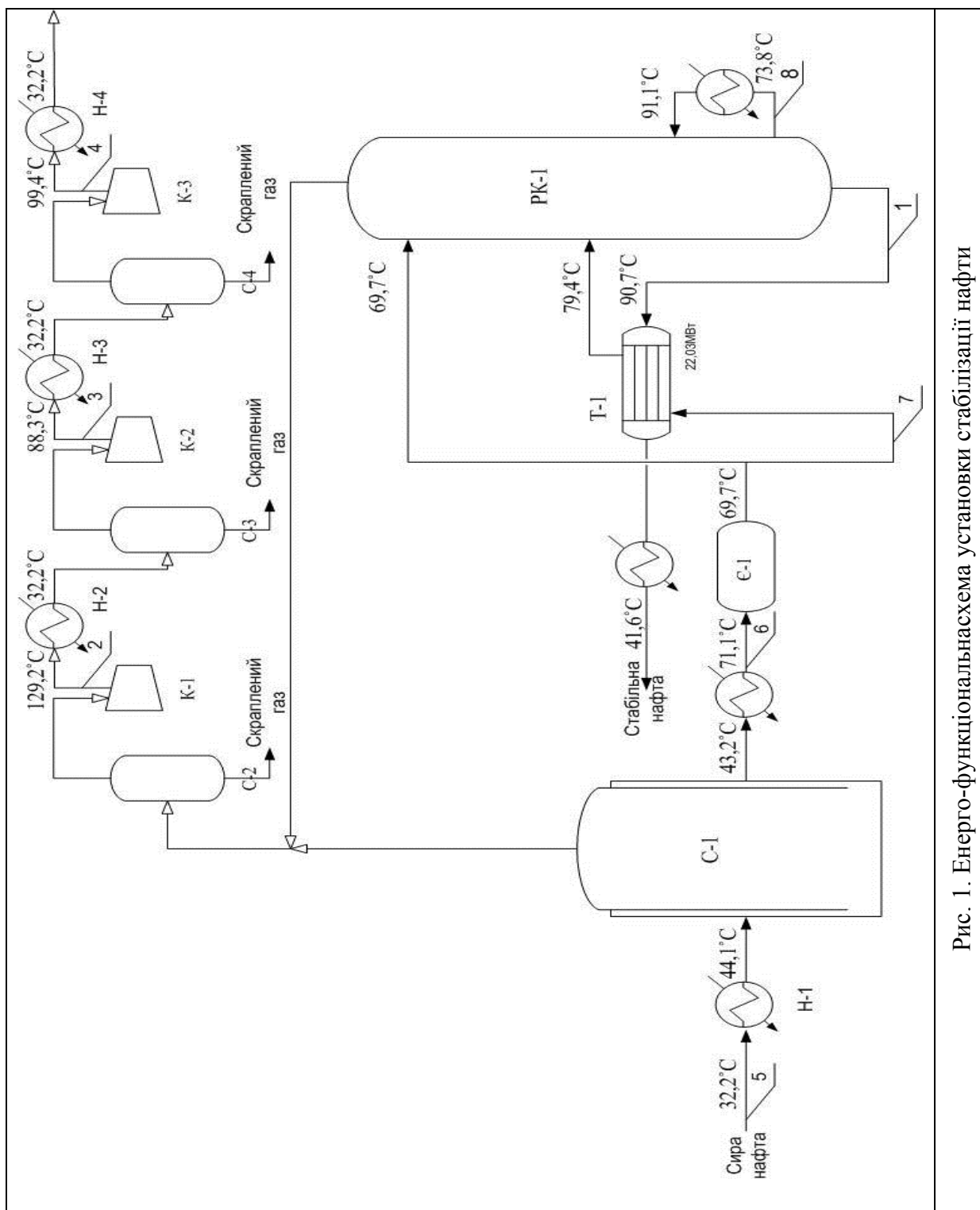


Рис. 1. Енерго-функціональна схема установки стабілізації нафти

Цей несконденсований газ виходить з газосепаратора зверху і далі направляється в компресор К-1, де де стискається під тиском, потім проходить через холодильник Х-1. Зріджений газ, відводиться з низу газосепаратору, направляється в приймач (на схемі не показаний) [4].

Охолоджений несконденсований газ надходить в установку компресора другого ступеня, а потім і в – третього ступеня, де проходить такий же цикл як і в установці компресора першого ступеня [5].

Визначення технологічних потоків процесу стабілізації нафти. Сіткова діаграма. Для аналізу даних енергоспоживання та структури теплообмінної мережі необхідно виділити технологічні потоки, що приймають участь у теплообміні, а також потоки, які можуть бути включені до теплової інтеграції.

Під час обстеження процесу стабілізації нафти були визначені основні параметри технологічних потоків.

Характеристика основних технологічних потоків, які беруть участь у процесі стабілізації нафти, наведена в наступному списку, який послужить основою для проведення теплової інтеграції процесу [6].

Потік №1 (П1) стабільна нафта. Виходить знизу колони РК-1, поступає в теплообмінник Т-1 та охолоджується в холодильнику Х-1. $T_S = 90,7^\circ\text{C}$, $T_T = 41,6^\circ\text{C}$, $G = 4752$ т/год.

Потік №2 атмосферний компресор першого ступеня. Виходить з компресору К-1 і прямує до компресору К-2. $T_S = 129,6^\circ\text{C}$, $T_T = 32,2^\circ\text{C}$, $G = 1256$ т/год.

Потік №3 перша ступінь компресора високого тиску. Виходить з компресору К-2 і прямує до компресору К-3. $T_S = 88,3^\circ\text{C}$, $T_T = 32,2^\circ\text{C}$, $G = 592,2$ т/год.

Потік №4 друга ступінь компресора високого тиску. Виходить з компресору К-3 та прямує у ємність. $T_S = 99,4^\circ\text{C}$, $T_T = 32,2^\circ\text{C}$, $G = 514,8$ т/год.

Потік №5 початкова сировина. Виходить зі свердловини та прямує до сепаратору С-1. $T_S = 32,2^\circ\text{C}$, $T_T = 44,1^\circ\text{C}$, $G = 18590$ т/год.

Потік №6 знесолена сировина. Виходить зі знесолювача З-1 та прямує дроселювання. $T_S = 43,2^\circ\text{C}$, $T_T = 71,1^\circ\text{C}$, $G = 9450$ т/год.

Потік №7 стабілізатор сировини. Виходить після дроселювання розділяючись на два потоки: один йде на зрошення колони, а другий у теплообмінник Т-1 та поступає у колонну. $T_S = 69,7$ °С, $T_T = 79,4$ °С, $G = 3414$ т/год.

Потік №8 гарячий струмінь РК-1. Вихід з колони РК-1 підігрівається в Н-3 і повертається назад у колонну. $T_S = 73,8$ °С, $T_T = 91,1$ °С.

Використовуючи результати вивчення технологічної схеми, регламенту, матеріальний баланс установки, складається таблиця 1 поточкових даних, які необхідні для визначення теплової потужності, яку споживає установка стабілізації нафти на даний момент [7 – 10].

Таблиця 1. Система потоків для аналізу енергоспоживання установки стабілізації нафти

№ потоку	Назва потоку	Тип	T_S	T_T	ΔH МВт	СР МВт/°С	α , кВт/ ($m^2 \cdot K$)	Ср кДж/кг·°С	G т/год
1	Стабільна нафта	Гар.	90,7	41,6	155,5	3,2	0,4	2,4	4752
2	Атм. компресор 1 ступеня	Гар.	129,6	32,2	31,9	0,9	0,2	2,6	1256
3	1 ступінь компресора ВТ	Гар.	88,3	32,2	24	0,43	0,2	2,6	592,2
4	2 ступінь компресора ВТ	Гар.	99,4	32,2	25	0,37	0,2	2,6	514,8
5	Сира нафта	Хол.	32,2	44,1	133,4	11,2	0,5	2,05	18590
6	Знесолена сировина	Хол.	43,2	71,1	176,7	6,3	0,4	2,4	9450
7	Стабілізатор сировини	Хол.	69,7	79,4	22,03	2,276	0,4	2,4	3414
8	Гарячий струмінь	Хол.	73,8	91,1	58,03	3,35	0,4	2,4	

В цілому, в розпорядженні є 4 гарячих технологічних потоків і 4 холодних потоків з визначеними поточковими даними.

Для подальшого аналізу необхідно визначити величину потужності рекуперації у процесі, що існує [11].

Використовуючи дані, отримані під час обстеження установки, (табл.), будуємо сіткову діаграму процесу стабілізації нафти, як показано на рис. 2.

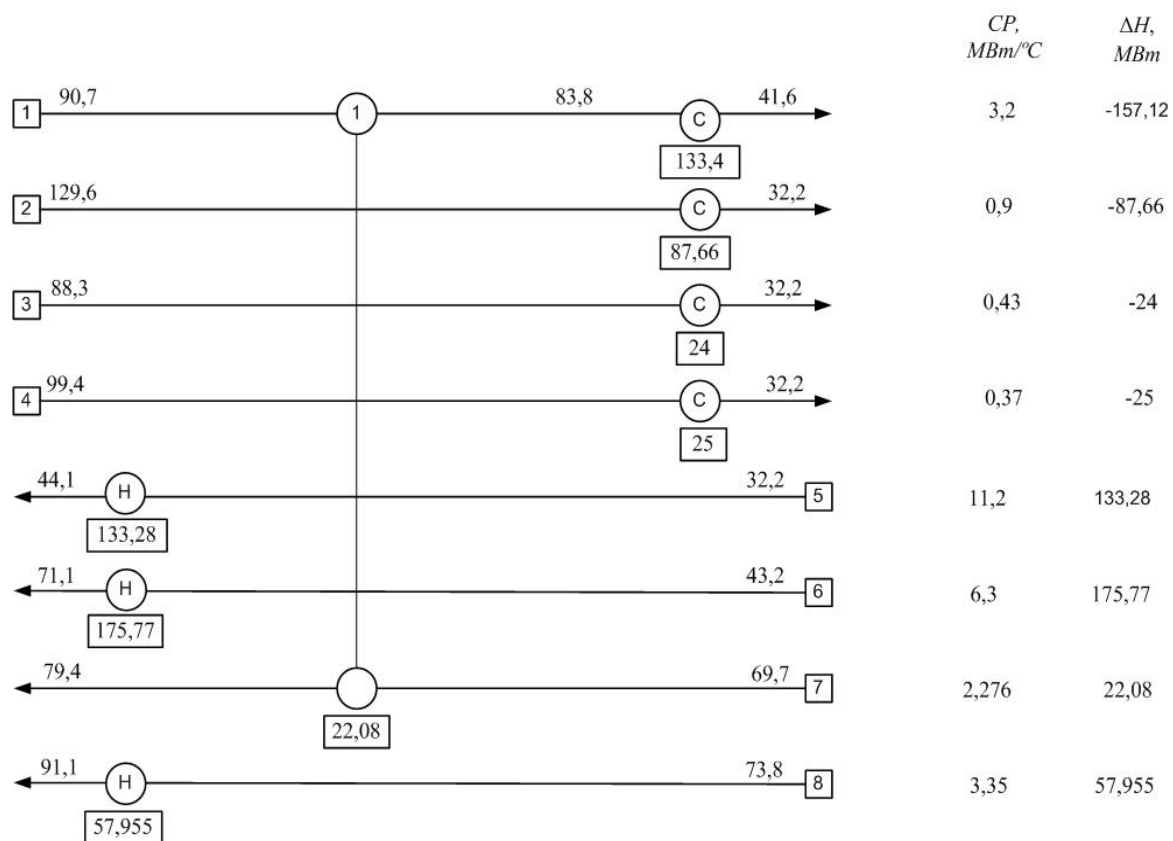


Рис. 2. Сіткова діаграма для процесу, що існує:
 1–4 – гарячі потоки; 5–8 – холодний потік;
 CP – потокова теплоємність; ΔH – теплові навантаження
 для кожного потоку

За вимірними температурами технологічних потоків та їх потоковими теплоємкостями визначаємо навантаження кожного з рекуперативних теплообмінників [12 – 17].

Гарячі утиліти в процесі, який ми розглядаємо становлять величину 269,12 МВт, а холодні утиліти – 364,42 МВт [18].

Після визначення та підсумовування теплових навантажень усіх теплообмінних апаратів отримано потужність рекуперації на установці стабілізації нафти, що дорівнює приблизно 22,08 МВт .

Висновок.

У результаті проведеного обстеження установки стабілізації нафти за встановленими правилами були екстрагованих потоків дані, систематизовані і занесені в таблицю.

На основі визначених потоків була побудована сіткова діаграма. Визначено величина холодних і гарячих утиліт споживані процесом на початковій стадії (до інтеграції) і існуюча рекуперация теплової енергії. Підготовчий етап завершено успішно, на основі отриманих даних можна проводити подальші розрахунки для обчислення необхідних цільових функцій процесу.

Список литературы: 1. Алиев Р.А. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р.А. Алиев. – М.: Недра, 1988. – 63 с. 2. Нурелдин М.Б. Снижение выбросов парниковых газов и преимущества улавливания CO₂ / М.Б. Нурелдин, А.С. Азери, С. Аль-Хашими // Нефтегазовые технологии. – 2008 – №4 – С.106 – 108 3. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2000. – 457 с. 4. Уильям Д. Леффлер. Переработка нефти / Уильям Д. Леффлер. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». 2004. – 223 с. 5. Товажнянский Л.Л. Интеграция тепловых процессов на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 при работе в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, С.А. Болдырев, М.В. Тарновский // Теорет. основы хим. технологии. 2009. – Т. 43, – №6. – С. 665 – 676. 6. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Vumbac G. // 1th Conference on process integration, modeling and optimization for energy saving and pollution reduction. PRES'01. Chemical engineering translations, 2001. – Vol. 2. – p. 489 – 492. 7. Гуревич И.Л. Общие свойства и первичные методы переработки нефти и газа / И.Л. Гуревич. – М.: Химия, 1972. – 195 с. 8. Мановян А.К. Технология переработки природных энергоносителей / А.К. Мановян. – М.: Химия, КолосС, 2006. – 456 с. 9. Эрих В.Н. Химия и технология нефти и газа / В.Н. Эрих, М. Г. Расина, М. Г. Рудин. – Л.: Химия, 1985. – 378 с. 10. Nordman R. New process integration methods for heat-saving retrofit projects in industrial systems Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Göteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweden. 2005. – 77 p. 11. Tovazhneanski L.L. Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Account Different regime / L.L. Tovazhneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky // Chemical Engineering Transaction. – 2005 – Vol. 7. – P. 103–108. 12. Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке / В.П. Суханов. – М.: Химия, 1973. – 350 с. 13. Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А.И. Львова, А.Г. Сарданавили. – М.: Химия, 1980. – 256 с. 14. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 671 с. 15. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Ульев Л.М., Мельниковская Л.А., Ходченко С.М. Энергоэффективная реконструкция установки нефтепереработки на основе пинч-анализа с учетом внешних потерь // Теорет. основы хим. технологии. –2012. –Т. 46, –№5. –С. 491–500. 16. Клемеш Й., Костенко Ю.Т., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М., Перевертайленко А.Ю., Зулин Б.Д. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки // Теорет. основы хим. технологии. 1999. Т. 33, №4. С. 420–431. 17. Клемеш Й. Определение оптимальной энергетической эффективности предприятий с помощью построения составных кривых технологических процессов / Й. Клемеш, Л.Л. То-

важнянський, Н.Д. Андрійчук, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв, А.Ю. Перевертайленко, Б.Д. Зулін // Тези доповідей IX міжнародної конференції «Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв». Ч. 7. Ресурсозберігаючі та екологічно чисті енерготехнології. Теплові труби. Теплові насоси. Одеса. – 1996. – с. 24. **18.** Капустенко П.А., Кузін А.К., Макаровський Е.Л., Товажнянський Л.Л., Ульєв Л.М., Черная Е.Б. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы. – Харьков: ООО Издательский дом «Вокруг цвета». 2004. – 312 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Aliev R.A. Truboprovodnyiy transport nefiti i gaza / R.A. Aliev. – Moscow: Nedra, 1988. – 63 p. **2.** Nureldin M.B. Snizhenie vyibrosov parnikovyyih gazov i preimuschestva ulavlivaniya SO₂ / M.B. Nureldin, A.S. Azeri, S. Al-Hashimi // Neftegazovyye tehnologii. 2008 – No. 4. – p.106 – 108. **3.** Smit R. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov / R. Smit, Y. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev. – Kharkov: Izdatelskiy tsentr NTU «KhPI», 2000. – 457 p. **4.** Uilyam D. Leffler. Pererabotka nefiti / Uilyam D. Leffler. M.: ZAO «Olimp-Biznes». 2004. – 223 p. **5.** Tovazhnyanskiy L.L. Integratsiya teplovyih protsessov na ustanovke pervichnoy pererabotki nefiti AVT A12/2 pri rabote v zimnee vremya / L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, S.A. Boldyirev, M.V. Tarnovskiy. / Teoret. osnovyi him. tehnologii. 2009. – T. 43, – No. 6. – P. 665 – 676. **6.** Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G. 1th Conference on process integration, modeling and optimization for energy saving and pollution reduction. PRES'01. Chemical engineering translations, 2001. – Vol. 2. – P. 489 – 492. **7.** Gurevich I.L. Obshchie svoystva i pervichnyie metody pererabotki nefiti i gaza / I.L. Gurevich. – M.: Himiya, 1972. – P. 195. **8.** Manovyan A.K. Tehnologiya pererabotki prirodnyih energonositeley / A.K. Manovyan. – Moscow: Himiya, KolosS, 2006. – 456 s. **9.** Erih V.N. Himiya i tehnologiya nefiti i gaza / V.N. Erih, M.G. Rasina, M.G. Rudin. – Leningrad: Himiya, 1985. – p. 378. **10.** Nordman R. New process integration methods for heat-saving retrofit projects in industrial systems Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Göteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweden. 2005. – 77 p. **11.** Tovazhshneanski L.L. Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Account Different regime / L.L. Tovazhshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky Chemical Engineering Transaction. 2005 – Vol. 7. – P. 103–108. **12.** Suhanov V.P. Kataliticheskie protsessy v neftepererabotke / V.P. Suhanov. – Moscow : Himiya, 1973. – 350 p. **13.** Lvova A.I. Primery i zadachi po tehnologii pererabotki nefiti i gaza / A.I. Lvova, A.G. Sardanashvili. – Moscow: Himiya, 1980. – 256 p. **14.** Ahmetov S.A. Tehnologiya glubokoy pererabotki nefiti i gaza / S.A. Ahmetov. – Ufa: Gilem, 2002. – 671 p. **15.** Meshalkin V.P., Tovazhnyanskiy L.L., Ulev L.M., Melnikovskaya L.A., Hodchenko S.M. Energoefektivnaya rekonstruktsiya ustanovki neftepererabotki na osnove pinch-analiza s uchetom vneshnih poter // Teoret. osnovyi him. tehnologii. 2012. – T. 46, – No. 5. – P. 491–500. **16.** Klemesh Y., Kostenko Yu.T., Tovazhnyanskiy L.L., Kapustenko P.A., Ulev L.M., Perevertaylenko A.Yu., Zulin B.D. Primenenie metoda pinch-analiza dlya proektirovaniya energosberegayuschih ustanovok neftepererabotki // Teoret. osnovyi him. tehnologii. 1999. T. 33, No. 4. – P. 420–431. **17.** Klemesh Y. Opredelenie optimalnoy energeticheskoy effektivnosti predpriyatiy s pomoschyu postroeniya sostavnyih krivyih tehnologicheskikh protsessov / Y. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskiy, N.D. Andriychuk, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, A.Yu. Perevertaylenko, B.D. Zulin // Tezi dopovidney IXmIzhnarodnoYi konferentsIYi «Udoskonalennya protsesIv ta aparatIv hImIchnIh, harchovih ta naftohImIchnih virobnitstv». Ch. 7. Resursozberigayuchi ta ekologIchno chistI energotehnologiyi. teplovi trubi. teplovi nasosi. Odessa. 1996. – p. 24. **18.** Kapustenko P.A., Kuzin A.K., Makarovskiy E.L., Tovazhnyanskiy L.L., Ulev L.M., Chernaya E.B. Alternativnaya energetika i energosberezhenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy. – Kharkov: ООО Издательский дом «Вокруг тsveta». 2004. – 312 p.

Надійшла (received) 10.10.14

Л.М. УЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;

О.О. ЯЦЕНКО, аспірант, НТУ «ХП»;

М.В. ІЛЬЧЕНКО, аспірант, НТУ «ХП»

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПРОЦЕСІВ ВИДІЛЕННЯ БЕНЗОЛ-ТОЛУОЛ-КСИЛОЛЬНОЇ ФРАКЦІЇ ТА ГІДРОДЕАЛКІЛАТА В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА БЕНЗОЛУ

Актуальність теми обумовлена тим, що зростання цін на енергію спонукає економніше використовувати енергоресурси, тому що рівень енерговитрат в значній мірі впливає на собівартість готової продукції. В роботі були виявлені недоліки існуючої теплообмінної системи, які призводять до збільшення енергоспоживання, розглянуто можливість поліпшення теплової інтеграції процесів виділення бензол-толуол-ксилольної фракції і гідродекантату в процесі виробництва бензолу. Визначено оптимальне значення мінімального температурного напору на теплообмінному обладнанні. У результаті впровадження проекту реконструкції споживання теплової енергії і охолоджуючої води може скоротитися на 10% і 30% відповідно.

Ключові слова: бензол, пінч-аналіз, сіткова діаграма, складові криві, утиліти.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями. В даний час енергетична та екологічна ситуація в Україні критична, насамперед внаслідок того, що забезпечення державою власними енергоресурсами складає приблизно 37%, а викиди шкідливих речовин 60 млн т на рік [1].

Промислові підприємства різноманітних галузей промисловості (хімічної, нафтохімічної, мінеральних добрив, металургії чорних та кольорових металів, харчової та ін.) являються найбільшими світовими споживачами енергетичних ресурсів у вигляді сировини [2]. Вони споживають 45–50% енергоресурсів держави і являються основними джерелами шкідливих речовин і парникових газів. Питоме енергоспоживання в промисловості України в 2–3 рази вище, ніж в економічно розвинених країнах, що свідчить про наявність великого енергозберігаючого потенціалу, а також про можливість зменшення техногенної загрози на навколишнє середовище. При ефективному проведенні енергозберігаючої технічної та економічної політики в масштабі держави темпи зниження

енерговитрат складають 1–1,5 % на рік, що забезпечує її двократному зниженню на протязі 50–70 років. Однак, незважаючи на таке повільне просування до енергоефективності, вплив від нього надмірно великий. Наприклад, 28,5 % світових ресурсів економиться за рахунок функціонування енергозберігаючих технологій, що еквівалентно світовій добичі нафти [3]. Такі можливості неможна упускати Україні, котра не забезпечена власними паливними ресурсами. Тому в рамках структурної перебудови економіки в Україні важливішою її частиною стало здійснення державної політики енергозбереження. Зниження питомого енергоспоживання можна досягти шляхом модернізації окремих систем виробництва, установок і заводів в цілому, а також вдосконаленням окремих виробничих операцій. Літературні дані, опубліковані в різних джерелах [4, 5], говорять, що застосування пінч-аналізу в середньому призводить до зниження вартості споживаної енергії (30–50) % і значно знижуються капітальні витрати при створенні нових підприємств. Інтегровані технології і пінч-метод засновані на здатності чіткого визначення можливостей енергозбереження і дозволяють мінімізувати як витрати теплової енергії (експлуатаційні витрати), так і капітальні вкладення.

Визначення енергозберігаючого потенціалу процесів виділення бензол-толуол-ксилольної фракції і гідродекатилата в процесі виробництва бензолу. Для цього побудуємо популяцію гарячих і холодних технологічних потоків на сіткову діаграму згідно з температурними інтервалами в яких розташовані досліджувані потоки. Опис технологічної схеми та таблиця поточкових даних представлена в роботі [6]. Сіткова діаграма існуючої сітки теплообміну показана на рис. 1. В цілому, в розпорядженні є 9 гарячих технологічних потоків і 11 холодних потоків з визначеними поточковими даними. Для подальшого аналізу необхідно визначити величину потужності рекуперації у процесі, що існує [7]. За вимірними температурами технологічних потоків та їх поточковими теплоємностями визначаємо навантаження кожного з рекуперативних теплообмінників [8, 9]. Після визначення та підсумування теплових навантажень усіх теплообмінних апаратів отримано потужність рекуперації 2 930,90 кВт .

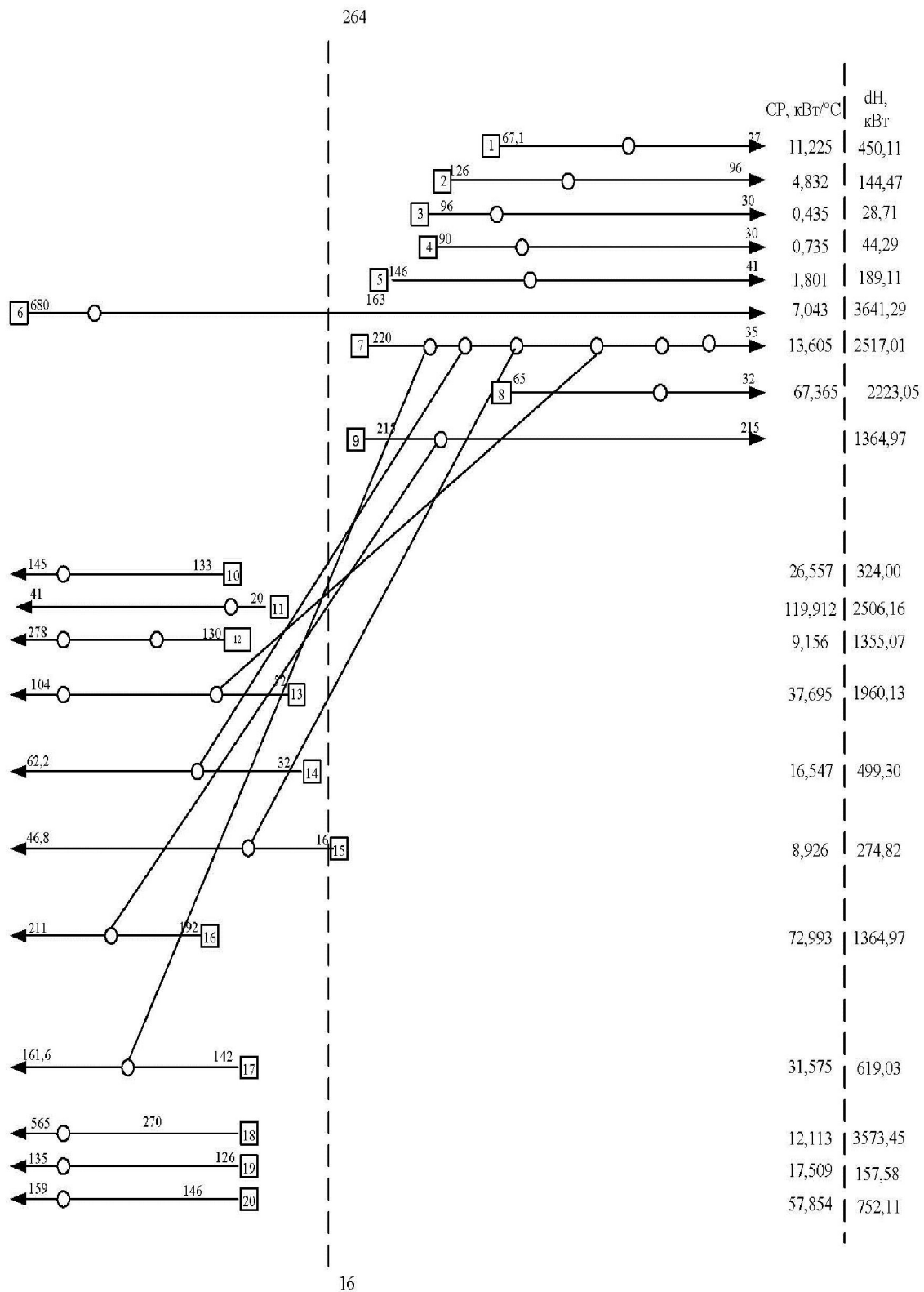


Рис. 1. Сіткова діаграма для процесу, що існує

Відомі значення цільової температури, температури постачання й величини теплових навантажень на потоки, дозволяють представити їх на температурно-ентальпійній діаграмі. Використавши дані сіткової діаграми (рис. 1), будемо на ентальпійно-температурній діаграмі гарячу і холодну складові криві обраної системи технологічних потоків (рис. 2). Розташування кривих повинне бути таким, щоб інтервал перекриття між ними складав розраховану величину рекуперації потужності (Q_{rec}).

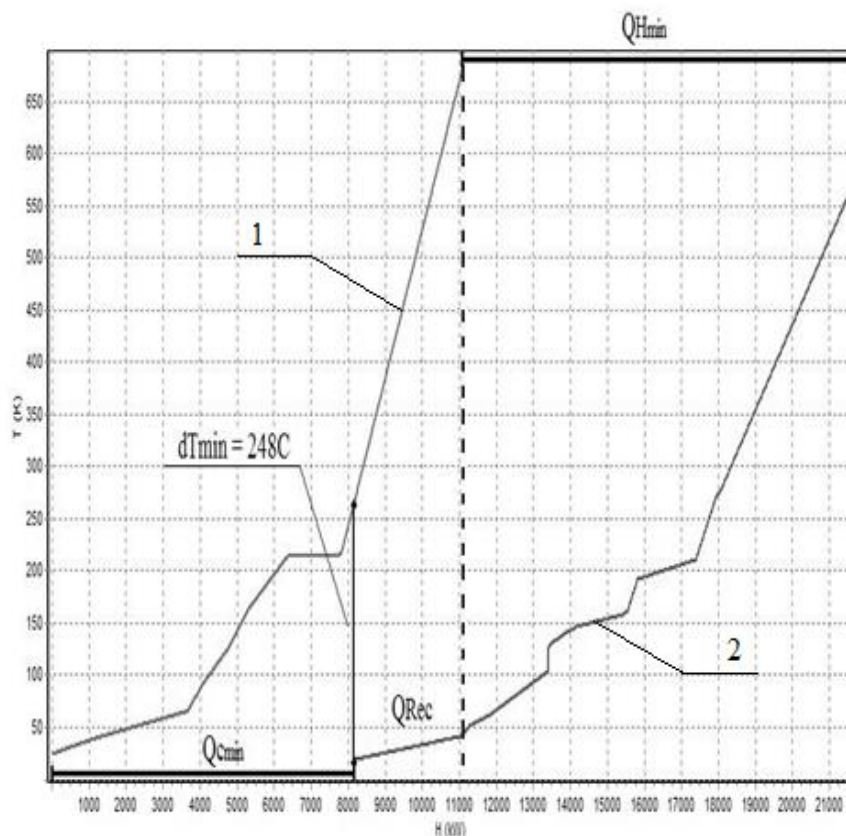


Рис. 2. Складові криві існуючого процесу: 1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива; Q_{cmin} , Q_{hmin} – споживання холодних та гарячих утиліт; Q_{rec} – потужність рекуперації; ΔT_{min} – мінімальна різниця температур

Складові криві містять великий об'єм інформації про систему технологічних потоків, утилітну систему і ефективність використання теплової енергії в процесі [7]. Проекція гарячої складової кривої на ентальпійну вісь (абсцис) показує значення теплової потужності, яку можливо відвести від системи гарячих потоків і використовувати для підігріву холодних технологічних потоків. Ця величина складає значення $Q_{cmin} = 8143,66$ кВт. Аналогічно для холодної складової кривої потужність скла-

дає $Q_{hmin} = 10\,455,72$ кВт. При впровадженні проекту підприємство несе разові (капітальні) витрати, пов'язані з розробкою проекту. Використовуючи ціни на теплообмінне устаткування можемо ще до виконання проекту реконструкції оцінити необхідні капвкладення і термін їх окупності. Отже капітальну вартість одного теплообмінного апарату можна визначити виразом:

$$\text{Кап.вартість} = A_T + B_T(S)^c, \quad (1)$$

де $A_T = 5000$ дол. США – вартість установки одного теплообмінного апарату; B_T – коефіцієнт, еквівалентний вартості 1 м^2 площі поверхні теплообміну, для кожухотрубчатих теплообмінних апаратів $B_T = 500$; S – площа поверхні теплообміну теплообмінного апарату; c – коефіцієнт, що відображає нелінійну залежність вартості теплообмінника від величини його поверхні теплообміну. Для кожухотрубчатих теплообмінників $c = 0.87$.

За допомогою програмного забезпечення «Pinch» [10] будемо вартісні криві (рис. 3).

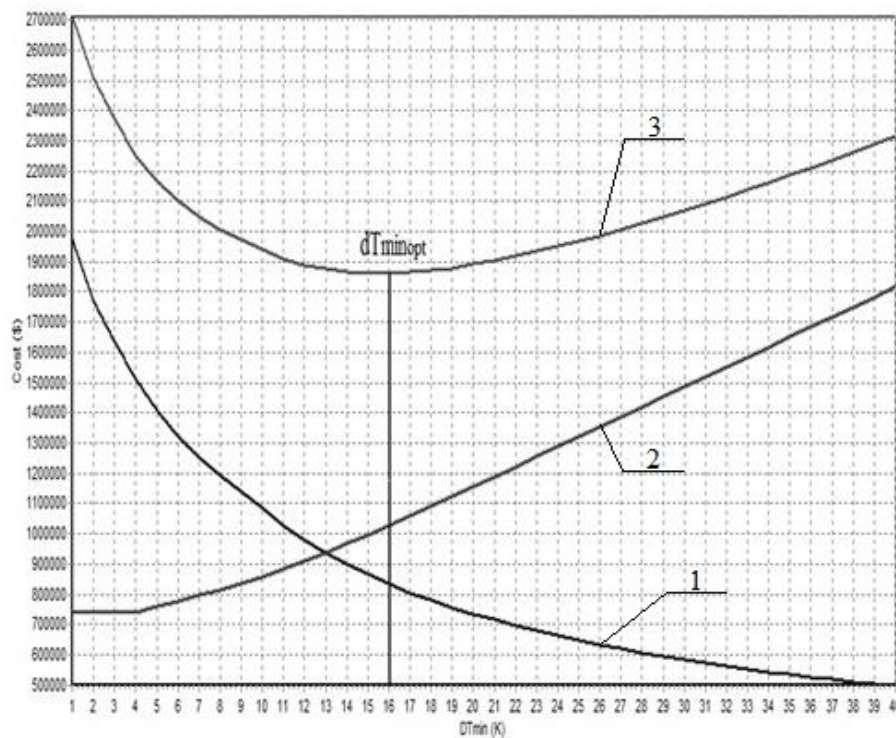


Рис. 3. Вартісні криві: 1 – вартість капітальних вкладень; 2 – вартість зовнішніх енергоносіїв; 3 – загальна вартість проекту; $\Delta T_{min,opt} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$

Проаналізувавши отримані дані, обираємо нове значення мінімальної різниці температур $\Delta T_{min}=16^{\circ}\text{C}$. Будуємо складові криві для нової оптимальної різниці температур (рис. 4).

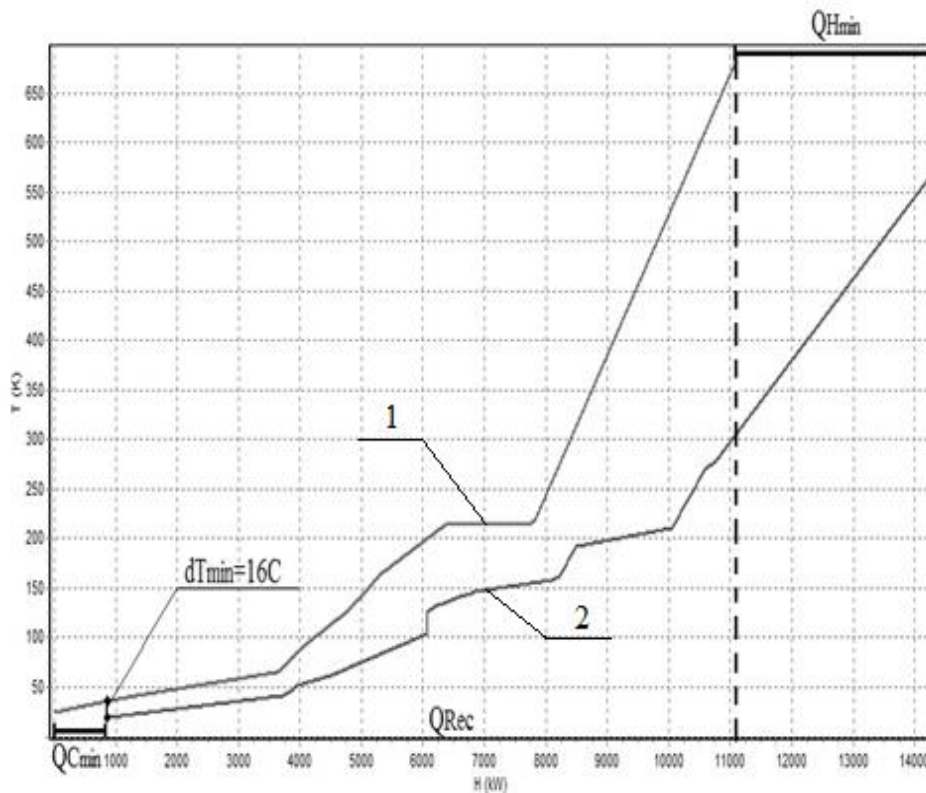


Рис. 4. Складові криві для $\Delta T_{min}=16^{\circ}\text{C}$: 1 – складова крива гарячих потоків; 2 – складова крива холодних потоків; Q_{Cmin} , Q_{Hmin} – споживання холодних та гарячих утиліт; Q_{Rec} – потужність рекуперації; ΔT_{min} – мінімальна різниця температур

Проекція гарячої складової кривої на ентальпійну вісь показує значення теплової потужності, яку можливо відвести від системи гарячих потоків і використовувати для підігріву холодних технологічних потоків. Ця величина складає значення 827,06 кВт. Аналогічно для холодної складової кривої потужність складає 3 139,39 кВт.

Для визначення економічного ефекту пінч-інтеграції необхідно розрахувати річну економію підприємства за рахунок зменшення енергоносіїв. Зробимо розрахунок вартості підведеного тепла, на нагрів холодних потоків. Визначимо вартість 1 кВт/рік енергії, що отримується при спалюванні природного газу:

– кількість енергії що виділяється при спалюванні 1000 м^3 природного газу $-33,5 \cdot 10^9$ Дж.

– за допомогою рівняння розрахуємо вартість 1 кВт/рік енергії:

$$\begin{aligned} 33,5 \text{ Гдж} &= 4100 \text{ грн,} \\ 3600 \cdot 8000 \text{ год } 10^3 &= x \text{ грн,} \end{aligned}$$

де x – питома вартість 1 кВт/рік; 8000 год – кількість робочих годин на рік; 3600 сек – кількість секунд в 1 годині.

Звідси знаходимо, що $x = 3\,524,78$ грн. Тобто 1 кВт/рік коштуватимуть 3 524,78 грн.

Вартість річної енергії, що піде на підігрів холодного потоку буде дорівнювати:

$$S_{\Gamma} = Q_{\text{H}} \cdot x, \quad (2)$$

де Q_{H} – теплова потужність для нагріву холодних потоків, кВт.

$$S_{\Gamma 1} = 10\,455,72 \cdot 3\,524,78 = 36\,845\,072,17 \text{ грн.}$$

З літературних джерел відомо, що вартість енергії для охолодження складає 10% від вартості енергії на нагрівання, отже:

$$S_{\text{X}} = Q_{\text{C}} \cdot x \cdot 0,1, \quad (3)$$

де Q_{C} – теплова потужність для охолодження гарячих потоків, кВт.

$$S_{\text{X}1} = 8\,143,66 \cdot 3\,524,78 \cdot 0,1 = 2\,870\,457,83 \text{ грн.}$$

Загальні річні витрати на енергоносії складають:

$$S_{\text{ЗАГ}} = S_{\Gamma} + S_{\text{X}}; \quad (4)$$

$$S_{\text{ЗАГ}1} = 36\,854\,072,17 + 2\,870\,457,83 = 39\,724\,530,00 \text{ грн.}$$

Після розробки та впровадження пінч технологій, було отримано нові значення гарячих та холодних утиліт, 3 139,39 кВт та 827,06 кВт відповідно. Зробимо перерахунок вартостей енергії згідно формул (2), (3):

$$S_{\Gamma 2} = 3\,139,39 \cdot 3\,524,78 = 11\,065\,646,90 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{X}2} = 827,06 \cdot 3\,524,78 \cdot 0,1 = 291\,520,13 \text{ грн.}$$

Загальні річні витрати на енергоносії згідно формули (4) складатимуть:

$$S_{\text{ЗАГ}2} = 11\,065\,646,90 + 291\,520,13 = 11\,357\,167,04 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму економії за рік:

$$\Delta S = S_{3AG1} - S_{3AG2} \quad (5)$$

$$\Delta S = 39\,724\,530,00 - 11\,357\,167,04 = 28\,367\,362,96 \text{ грн.}$$

Показано, що економічний потенціал енергозбереження дорівнює близько 28 млн. грн.

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Дослідження, яке було проведено в даній роботі показало значний потенціал енергозбереження процесів виділення бензол-толуол-ксилольної фракції і гідродеалкілата в процесі виробництва бензолу.

Зменшення споживання утиліт на процесі виробництва бензолу призводить до зменшення використання бензолу у якості палива. Це веде як до значної економії коштів, так і до зменшення шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Результати даної роботи можна використати для аналізу та реконструкції існуючого виробництва та виробництв що проектуються.

Список літератури: 1. *Товажнянский Л.Л.* Теплоэнергетическая интеграция химико-технологических процессов – инструмент энергосбережения и уменьшения вредных выбросов / *Л.Л.Товажнянский, Л.М. Ульев* // Структурна перебудовата екологізація економіки в контексті переходу України до збалансованого розвитку Матеріали III українського екологічного конгресу, 10-11 грудня 2009р. – К: Центр екологічної освіти та інформації. – с. 193 – 197. 2. *Мешалкин В.П.* Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем / *В.П. Мешалкин, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко.* – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – 412с. 3. *Капустенко П.А.* Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы / *П.А. Капустенко, А.К. Кузин, Е.Л. Макаровский и др.* – Х.: ООО Издательский дом «Вокруг цвета». 2004. – 321с. 4. *Товажнянский Л.Л.* Проблемы энергосбережения и пинч-анализ как метод их решения / *Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев* // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2006. – № 2. – с. 82–88. 5. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский и др.* – Х.: ХГПУ, 2000. – 457 с. 6. *Ульев Л.М.* Экстракция данных для пинч-анализа процессов выделения бензол-толуол-ксилольной фракции и гидродеалкилата в производстве бензола / *Л.М. Ульев, О.А. Яценко, М.В. Ильченко* // Наукові праці ОНАХТ.– Одесса: 2014.-Вип. 45.–Том. 3.– с.125-130. 7. *Tovazshneanski L.L.* Estimation of energy saving potential of industrial sites with methods of process integration / *L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev* // 14th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA'2000, Praha. – 2000. – Summaries

Vol. 4. Process System Engineering. Praha. – 2000. – p. 61. (Paper No. H5. 6. P.6). **8. Товажнянський Л.Л.** Интеграция теплоэнергетических процессов в промышленности / *Л.Л. Товажнянський, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв, К.П. Кусаков* // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. XIII конференция стран СНГ с международным участием. Труды конференции. (Севастополь. 14–18 июля 2003 г). К.: 2003. – с. 116–120. **9. Товажнянський Л.Л.** Интеграция тепловых процессов для развития энергосберегающего потенциала промышленности / *Л.Л. Товажнянський, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв, А.Ю. Перевертайленко, О.Б. Анипко* // Інтегровані технології та енергозбереження. 2002. – № 2. – с. 3–5. **10. Ульєв, Л.М.** Программное обеспечение для проектирования теплообменных сетей / *Ульєв Л.М., Яценко О.А.* // Вестник НТУ «ХПИ». – 2012. . – №10. – с.61–72

Bibliography (transliterated): **1. Tovazhneanski L.L.** Teploenergeticheskaya integratsiya himiko-tehnologicheskikh protsessov – instrument Energoberezheniya i umensheniya vrednykh vyibrosov / *L.L. Tovazhneanski, L.M. Ulyev.* Strukturna perebudovata ekologizatsiya ekonomiku v konteksti perehodu Ukraine do zbalansovanogo rozvitku Materiali III ukrainskogo ekologichnogo kongresu, 10-11 December 2009. – Kiev: Tsentr ekologichnoyi osvitu ta Informatsii. – P. 193 – 197. **2. Meshalkin V.P.** Osnovy teorii resursoberegayuschih integrirovannykh himiko-tehnologicheskikh sistem / *V.P.Meshalkin, L.L. Tovazhneanski, P.A. Kapustenko.* – Kharkov: NTU «KhPI», 2006. – 412p. **3. Kapustenko P.A.** Alternativnaya energetika i energoberezhenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy / *P.A. Kapustenko, A.K. Kuzin, E.L. Makarovskiy i dr.* – Kharkov: OOO Izdatelskiy dom«Vokrugsveta».–2004.–321p. **4. Tovazhneanski L.L.** Problemy energoberezheniya i pinch-analiz kak metod ih resheniya/ *L.L. Tovazhneanski, L.M. Ulyev.* Oborudovanie i instrument dlya professionalov. 2006. – No 2. – P. 82–88. **5. Smit R.** Osnovy integratsii teplovykh protsessov / *R. Smit, Y. Klemesh, L. L. Tovazhnyanskiy i dr.* – Kharkov: NTU «KhPI», 2000. – 457 p. **6. Ulyev L.M.** Ekstraktsiya dannykh dlya pinch-analiza protsessov vyideleniya benzol-toluol-ksilolnoy fraktsii i gidrodealkilata v proizvodstve benzola / *L.M.Ulyev, O.A. Yatsenko, M.V. Ilchenko.* Naukovo pratsi ONAHT.– Odessa: 2014.-V. 45.–Tom. 3.– P. 125-130. **7. Tovazhneanski L.L.** Estimation of energy saving potential of industrial sites with methods of process integration / *L.L. Tovazhneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev* // 14th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA'2000, Praha. – 2000. – Summaries Vol. 4. Process System Engineering. Praha. – 2000. – P. 61. (Paper No. H5. 6. P.6). **8. Tovazhneanski L.L.** Integratsiya teploenergeticheskikh protsessov v promyishlennosti / *L.L. Tovazhneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, K.P. Kusakov* // Problemy ekologii i ekspluatatsii ob'ektov energetiki. XIII konferentsiya stran SNG s mezhdunarodnyim uchastiem. Trudy konferentsii. (Sevastopol. 14–18 July 2003). Kiev. – 2003. – P. 116–120. **9. Tovazhneanski L.L.** Integratsiya teplovykh protsessov dlya razvitiya energoberegayuschego potentsiala promyishlennosti/ *L.L. Tovazhneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, A.Yu. Perevertaylenko, O.B. Anipko.* Integrovani tehnologii ta energozberezhennya. 2002. – No 2.– P. 3–5. **10. Ulyev, L.M.** Programmnoe obespechenie dlya proektirovaniya teploobmennykh setey/ *Ulyev L.M., Yatsenko O.A.* Visnyk NTU "KhPI". – 2012.– No 10. – P. 61–72

Надійшла (received) 10.10.14

Г.Л. ХАВИН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
Е.С. КАСЬЯН, студент, НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЕФЕКТОВ ПРИ СВЕРЛЕНИИ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

Рассмотрена задача определения длины трещины расслаивания при сверлении слоистых композитов сверлом с центральной и периферийной режущей кромкой. Для фиксированного значения глубины залегания трещины получено соотношение, связывающее отношение диаметра сверла к длине трещины расслаивания и отношения величины силы, действующей на периферии сверла к ее центральной составляющей. Используя эмпирическое представление интегральной осевой силы, получены зависимости длины трещины от глубины ее залегания.

Ключевые слова: трещина расслоения, глубина залегания трещины, полимерные слоистые композиты.

Вступление. Появление новых композиционных материалов (КМ) и удешевление производства уже известных приводит к все более широкому их применению во всех областях промышленности. Сверление КМ является основной вторичной операцией механической обработки. Несмотря на появление новых технологий получения отверстий их высокая стоимость пока не может заменить традиционного сверления отверстий. Главной проблемой при сверлении слоистых композитов является появление дефектов на верхней и нижней поверхности заготовки, т.е. на входе и выходе инструмента. При корректно выбранных технологических режимах сверления и работе острозаточенным инструментом, в первую очередь, это появление продольных трещин, поперечное расслаивание, сколы и разлохмачивание обрабатываемой поверхности. Присутствие таких дефектов существенным образом влияет на прочностные свойства соединений, особенно на усталостную прочность. Для обеспечения качества отверстий при работе используют различного вида кондуктора и приспособления на входе инструмента и сверление в подложку на его выходе.

© Г.Л. Хавин, Е.С. Касьян. 2014

Кроме того, присутствие мелкодисперсной стружки при обработке, требует организации мер по экологической безопасности и утилизации продуктов разрушения. Все это приводит к удорожанию технологических операций и использованию дополнительной энергии на обработку.

Таким образом, присутствие в КМ материалов с резко отличающимися механическими свойствами при обработке сверлением приводит к нарушению фактической целостности обрабатываемой поверхности. Появляется шероховатость, которую трудно контролировать, остаточные напряжения и повреждения материала на некоторой глубине, вызванные ростом трещин различной длины и ориентации. В связи с этим в последнее десятилетие проблемы, связанные с точностью и эффективностью сверления КМ обрели особую актуальность также с точки зрения себестоимости обработки, которая связана с износом инструмента, выбором параметров обработки и осуществлением контроля качества обработанной поверхности. Поэтому задача обеспечения качества обработки отверстий при сверлении КМ является актуальной и имеет практическую ценность.

Анализ последних достижений и литературы. Обсуждению теоретических вопросов и инженерных проблем посвящены работы [1,2], где исследованы процессы обработки резанием КМ армированных длинными волокнами. Главный вывод, который был сделан авторами, состоит в том, что степень разрушения обработанной поверхности и обрабатываемость КМ определяется в основном ориентацией волокон по отношению к направлению резания. Также в работе [3] были рассмотрены вопросы влияния геометрии режущего инструмента и ориентации волокон. Достаточно большие усилия исследователей были уделены прогнозированию величины силы резания [4, 5], где был использован энергетический подход для ортогонального резания. Кроме сугубо аналитических и экспериментальных методов активно применялись численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ) [6, 7]. Были проведены расчеты по усредненной модели и рассмотрено резание отдельных волокон как разрушение волокна при взаимодействии с инструментом.

Постановка задачи и цель работы. Рассматривается задача об обеспечении качества поверхности при сверлении заготовки из слоистого КМ на выходе инструмента. Для обеспечения качества обработки требуется минимизировать величину длины продольной трещины – l , возникающей на некоторой глубине от нижнего края заготовки, и минимизировать глубину начала отслаивания армирующих слоев – h , рис.1. В большинстве практических приложений задается предельное значение глубины отслаивания h . При этом возникает вопрос о том, как определить значение величины распространения трещины в продольном направлении и как увязать расчет этой величины с режимными параметрами обработки, геометрией сверла и его стойкостью к изнашиванию. Классический алгоритм расчета технологических параметров при сверлении КМ предусматривает после выбора марки и типа сверла определение величины подачи из удовлетворения условий выполнения заданной шероховатости обработанной поверхности [8]. Расчет базируется на эмпирических зависимостях, полученных обработкой экспериментальных данных. При назначении осевой подачи не учитывается появление расслаивания и распространение продольной трещины. В большинстве случаев это связано с тем, что сверление производится в подложку, что, хотя и улучшает качество обработки, но приводит к ее удорожанию и, в значительной степени, препятствует автоматизации процесса сверления.

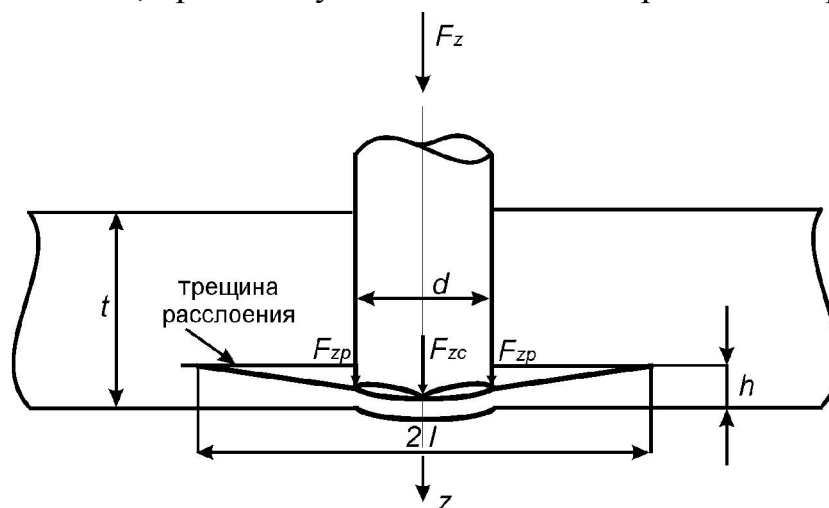


Рис. 1. Модель образования межслойной трещины при сверлении слоистого пластика

Главной целью работы является в рамках математической модели установить зависимость между глубиной отслаивания и величиной продольной трещины, а также между технологическими параметрами обработки и величиной этих дефектов при заданной геометрии сверла.

Теоретические положения. В качестве режущего инструмента рассмотрим сверло из твердого сплава с двумя подрезающими кромками, представленное на рис.2. Особенность такого инструмента заключается в том, что осевая сила в зоне разрушения действует в центральной части – F_{zc} и на периферии – F_{zp} , рис.1. В иностранной литературе сверло такой формы называется «candle stick drill», т.е. подсвечниковое сверло. Для таких сверл действие разрушающей осевой силы представляют в виде суммарного воздействия центральной осевой силы и распределенной нагрузки по периферии сверла.

Согласно теоретическому анализу, приведенному в работе [9], для сверла такой формы режущей части, осевая сила, соответствующая началу старта продольной круговой трещины и появлению отслаивания нижних слоев заготовки, может быть записана в виде

$$F_z = \pi(1+k_f) \sqrt{\frac{8 \cdot G_{IC} \cdot E \cdot h^3}{3(1-\nu^2) [1+k_f^2(1-k_l^2)^2]}} \quad (1)$$

где G_{IC} – критическое значение энергии трещинообразования по I-му типу, Дж/м²; E – модуль упругости, Па; ν – коэффициент Пуассона; $k_f = F_{zp} / F_{zc}$ – отношение силы действующей на периферии к центральной силе; $k_l = d / (2 \cdot l)$ – отношение диаметра сверла к общей длине трещины, рис.1.

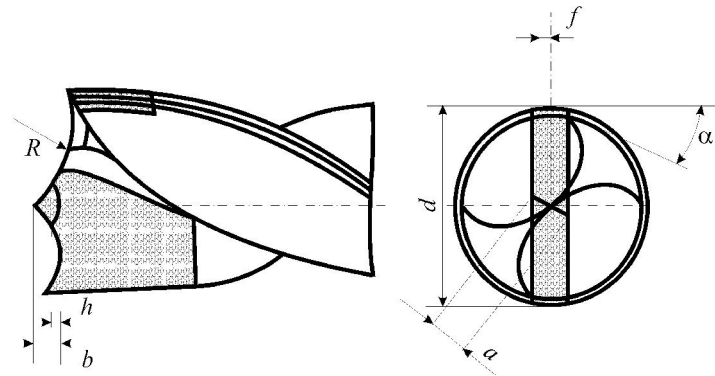


Рис. 2. Спиральное сверло с подрезающими режущими кромками (ПРК [8])

Для определения осевой силы при сверлении КМ существуют эмпирические соотношения, как общие, так и частные для отдельных типов КМ. В общем случае осевую силу определяют по формуле

$$F_z = C_z \cdot d^m \cdot s^n \cdot K_z, \quad (2)$$

где s – подача, мм/об.; d – диаметр сверла, мм; K_z – совокупность поправочных коэффициентов; C_z , m , n – постоянные. Совокупность поправочных коэффициентов представляется в виде

$$K_z = K_{zh} \cdot K_{z\phi} \cdot K_{z\alpha} \cdot K_{z\gamma}, \quad (3)$$

где K_{zh} , $K_{z\phi}$, $K_{z\alpha}$, $K_{z\gamma}$ – поправочные коэффициенты на износ по задней поверхности, главный угол, задний и передний угол соответственно. Согласно [8] для стекло- и углепластиков формулы (2) и (3) справедливы в диапазоне изменения параметров $s = 0,08 \dots 0,62$ мм/об; $d = 4 \dots 20$ мм и скорости резания $v = 0,04 \dots 0,58$ м/с. Числовые значения постоянных и поправочных коэффициентов обычно сведены в таблицы, составленные на основе экспериментальных данных.

Будем считать, что по условиям обработки задана предельная, т.е. максимально возможная глубина расслоения $h = [h]$. В качестве основной гипотезы примем, что началу расслоения, проявляющемуся в виде движения межслойной трещины на глубине h , соответствует некоторое значение подачи при известных параметрах инструмента и степени его износа. Это значение подачи определяет величину общей осевой силы, действие которой при известном значении критической энергии трещинообразования для предельно заданной глубины на которой начинается расслаивание, обеспечивает появление межслойной трещины. Тогда из соотношения (1), для определения возникающей длины трещины $2l$ через $k_l = d / (2 \cdot l)$, учитывая (2), получим

$$k_l = \sqrt{1 - \sqrt{\frac{8 \cdot G_{IC} \cdot E \cdot [h]^3}{3(1-v^2) \cdot C_z \cdot d^m \cdot s^n \cdot K_z} \cdot \frac{(1+k_f)^2}{k_f^2} - \frac{1}{k_f^2}}}. \quad (4)$$

Из соотношения (4), зная величину диаметра сверла, можно определить общую длину межслойной трещины $2l$.

Пример и результаты расчетов. В качестве примера использования предложенного подхода рассмотрим сверление отверстия диаметром

10 мм в заготовке из эпоксидного однонаправленного углепластика марки Т300 толщиной 12 мм с объемным содержанием волокон 60% и основными механическими характеристиками: плотность – 1600 кг/м³; продольный модуль упругости $E_{11} = 181$ ГПа; поперечный модуль упругости $E_{22} = 10,3$ ГПа; модуль сдвига $G_{12} = 7,17$ ГПа; коэффициент Пуассона $\nu_{12} = \nu_{21} = 0,28$; критическая энергия трещинообразования $G_{IC} = 250$ Дж/м². Значения постоянных коэффициентов приняты: $C_z = 79,8$; $m = 1,02$; $n = 0,85$; $K_z = 2$. Величина подачи принималась равной $s = 0,2$ мм/об.

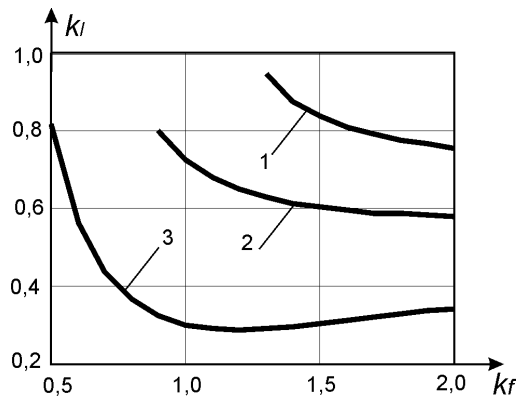


Рис. 3. Зависимость изменения отношения диаметра сверла к длине трещины k_l от величины отношения силы, действующей на периферии отверстия к величине осевой силы k_f , действующей по центру, для различных значений глубины расслаивания: 1 – $[h] = 0,35$ мм; 2 – $[h] = 0,40$ мм; 3 – $[h] = 0,45$ мм

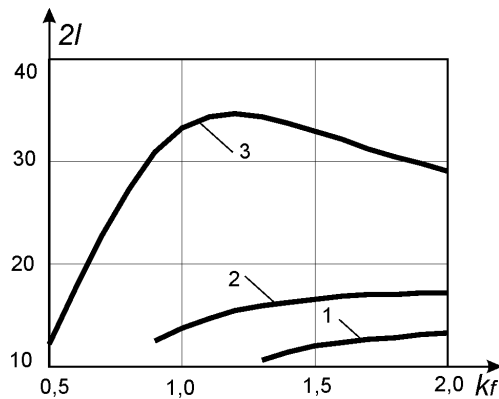


Рис. 4. Зависимость изменения длины $2l$ от величины отношения силы, действующей на периферии отверстия к величине осевой силы k_f , действующей по центру, для различных значений глубины расслаивания: 1 – $[h] = 0,35$ мм; 2 – $[h] = 0,40$ мм; 3 – $[h] = 0,45$ мм

Представленные результаты свидетельствуют о том, что с увеличением силы, действующей на периферии сверла по отношению к центральной осевой силе, величина трещины расслаивания незначительно возрастает в случае, если расслаивание происходит на малой глубине от поверхности выхода сверла.

С увеличением глубины начала расслаивания вначале происходит резкий рост длины трещины вплоть до максимального значения примерно при значении $k_f = 1,2$. При дальнейшем увеличении периферийной силы по отношению к осевой, имеет место снижение абсолютной величины трещины расслаивания.

Выводы.

Представлена модель, позволяющая прогнозировать величину трещины расслоения на выходе инструмента.

Предложенная зависимость связывает физико-механические параметры материала композита с режимными параметрами обработки.

Использование соотношения из работы [9] Hocheng H. и Tsao C.C. и экспериментального соотношения, полученного регрессионным анализом из работы [8], имеет ряд существенных ограничений:

- использование экспериментального соотношения из работы [8] для сверла типа «candle stick drill» дает значительное отклонение при вычислении значения осевой силы;
- полученное в работе [9] соотношение, связывающее интегральную осевую силу с параметрами трещиностойкости, не описывает диапазон изменения отношения периферийной и осевой силы мене 0,5;
- модель не учитывает влияние полученных повреждений и их накопление на общий характер разрушения на выходе сверла из отверстия.

Улучшение предложенной модели, учет распределения на осевое и периферийное усилие в зависимости от глубины начала расслаивания является целью дальнейших исследований.

Работа выполнена по проекту М2132Ф финансируемого министерством образования и науки Украины.

Список литературы: 1. König W. Machining of fibre reinforced plastics / W. König, Ch. Wulf, P. Gra, H. Willerscheid // *Annals of the CIRP*. 1985. – 34. – P. 537–548. 2. Wang X. M. Machining damage in unidirectional fibre-reinforced plastics. / In: J. Wang, W. Scott, L. C. Zhang. *Abrasive Technology—Current Development and Applications*. World Scientific.– 1999.– P. 429–436. 3. Wang D. H. Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite / D. H. Wang, M. Ramulu, D. Arola // Part I: unidirectional laminate. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1995. – 35.– P. 1623–1638. 4. Kishawy H. A. An energy based analytical force model for orthogonal cutting of metal matrix composites / H. A. Kishawy, S. Kannan, M. Balazinski // *Annals of the CIRP*. 2004. – 53. – P. 91–94. 5. A. Pramanik A. Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites / A. Pramanik, L. C. Zhang, J. A. Arsecularatne // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2006. – 46. – P. 1795–1803. 6. Arola D. Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis / D. Arola, M. Ramulu // *International Journal of Mechanical Science*. 1997. – 39. – P. 597–613. 7. Mahdi M. A finite element model for the orthogonal cutting of fibre-reinforced composite materials / M. Mahdi, L. C. Zhang // *Journal of Materials Processing Technology*. 2001. – 113. – P. 373–376. 8. Степанов А. А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние., 1987. – 176 с. 9. Ho-Cheng H. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits / H. Ho-Cheng, C. C. Tsao // *Journal of Materials Processing Technology*. 2003. – No. 140. – P. 335–339.

Bibliography (transliterated): 1. König, W. et al. "Machining of fibre reinforced plastics." *Annals of the CIRP*. No. 34, (1985): 537–548 p. Print. 2. Wang, X. M. and L. C. Zhang. "Machining damage in unidirectional fibre-reinforced plastics." In: J. Wang., W. Scott, L. C. Zhang. *Abrasive Technology—Current Development and Applications*. World Scientific. (1999): 429–436 p. Print. 3. Wang D. H., Ramulu M and D. Arola. "Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite." Part I: unidirectional laminate. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. No.35, (1995): 1623–1638 p. Print. 4. Kishawy H. A., Kannan S. and M. Balazinski "An energy based analytical force model for orthogonal cutting of metal matrix composites." *Annals of the CIRP*. No. 53, (2004): 91–94 p. Print. 5. A. Pramanik A., Zhang L. C. and J. A. Arsecularatne "Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. No.46, (2006): 1795–1803. Print. 6. Arola D. and M. Ramulu "Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis." *International Journal of Mechanical Science*. No.39, (1997): 597–613. Print. 7. Mahdi M. and L. C. Zhang "A finite element model for the orthogonal cutting of fibre-reinforced composite materials." *Journal of Materials Processing Technology*. No. 113, (2001): 373–376 p. Print. 8. Stepanov A. A. "Obrabotka rezaniem vysokoprochnyh kompozitsionnyh polimernyh materialov." Leningrad: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie., 1987.– 176 p. Print. 9. Ho-Cheng H. and C. C. Tsao "Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits." *Journal of Materials Processing Technology*. No. 140, (2003): P. 335–339. Print.

Поступила (received) 28.10.2014

О.В. САВВОВА, н.с., к.т.н., НТУ «ХП»

ОЦІНКА РІВНЯ РЕЗОРБЦІЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ КАЛЬЦІЙСИЛІКОФОСФАТНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ IN VITRO

Досліджено розчинність кальційсилікофосфатних склокристалічних матеріалів в фізіологічних рідинах. Встановлено, що дослідні матеріали мають низький рівень деструкції і можуть бути використані як медичні вироби. За результатами оцінки біологічної дії встановлено, що для даних матеріалів тенденція приросту маси в модельній рідині організму збільшується протягом 30–90 діб; крива приросту маси змінюється по параболічному закону з інтенсифікацією даного процесу в період від 90 до 180 діб. Встановлено можливість утворення апатитоподібного шару на поверхні резорбційних склокристалічних матеріалів *in vitro*. Підтверджено перспективність використання дослідних матеріалів як основи при отриманні біоактивних імплантатів в щелепно-лицевій хірургії та ортопедії для заповнення кісткових дефектів.

Ключові слова: біоактивні склокристалічні матеріали, фосфати кальцію, гідроксиапатит, резорбція, кісткові ендопротези.

Вступ. На сьогоднішній день розробка біоматеріалів для відновлювальної медицини є невід'ємною часткою програми охорони здоров'я та покращення якості життя населення. Це пов'язано з загальним зростанням соціальних норм, спрямованих на збереження здорової нації.

Аналіз і узагальнення світових досягнень в області створення і застосування нових медичних біосумісних імплантаційних матеріалів для кісткового ендопротезування свідчить про їх широкі можливості і перспективи розвитку. На сьогодні на ринку України є десятки різних біоактивних неорганічних матеріалів на основі фосфатів кальцію і сотні варіантів їх композицій і модифікацій, які характеризуються високою біосумісністю і широким діапазоном біологічних і фізико-хімічних властивостей. Однак невідповідність механічних властивостей фосфатів кальцію до подібних властивостей кісткової тканини обмежує використання даних матеріалів як замінників кісткової тканини на навантажуваних ділянках [1–4]. Тому актуальним є створення біоактивних склокристалічних матеріалів зі скороченими термінами зрощування з кісткою

© О.В. Саввова. 2014

близько 3 місяців та властивостями за міцністю, наближеними до природної кістки, що дозволить скоротити реабілітаційний період, знизити вартість лікування та підвищити конкурентну спроможність вітчизняних матеріалів для ендопротезування. Для склокристалічних матеріалів для заповнення кісткових дефектів визначальним фактором прояву їх біосумісності є:

- протікання об'ємної тонкодисперсної кристалізації з вмістом кристалічної фази фосфатів кальцію від 40 до 55 об. %
- забезпечення певного рівня резорбції з наступним формуванням на поверхні дослідних матеріалів апатитоподібного шару *in vivo*.

Обробка склокристалічних матеріалів у фізіологічних середовищах та середовищах, які імітують плазму крові, поряд з процесами розчинення приводить до осадження на їх поверхні різних сполук та кристалізації апатитоподібних структур, що є наступним етапом при реалізації прояву їх біоактивності. В утворенні сполук та рості кристалів беруть участь як компоненти матеріалу, які перейшли в розчин, так і компоненти самого розчину. Відомо, що кристалізації ГАП сприяє відносна сталість pH (7,3) у фізіологічному середовищі, а також присутність у складі штучної плазми катіонів Na^+ , K^+ , Mg^{2+} та аніонів Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^{2-} у домішкових концентраціях. У зв'язку з цим інтенсивність утворення ГАП збільшується у ряді: вода – фізіологічний розчин – штучна плазма (модельна рідина організму, МРО) [4, 5]. Механізм даного процесу з позиції фізико-хімії реалізується, як комплекс поверхневих явищ, спрямованих на утворення на поверхні матеріалу перехідної аморфно-кристалічної зони, яка включає полікристалічний кальційфосфатний шар з апатитоподібною структурою, що є близькою до структури кісткового гідроксиapatиту.

З погляду на вищесказане важливим є дослідження рівня їх резорбції та можливості формування апатитоподібного шару на поверхні дослідних склокристалічних матеріалів для прогнозування їх поведінки у середовищі живого організму.

Постановка мети та методика дослідження. Метою даної роботи було дослідження поведінки кальційсилікофосфатних склокристалічних матеріалів у фізіологічних рідинах. Оцінку біологічної дії склокристалічних покриттів у фізіологічних рідинах було проведено за методами екс-

тремального розчину (прискорене вивчення деструкції) та моделюючого розчину (деструкція в реальному часі) за ISO 10993-14-2001, а також в модельній рідині організму (МРО) за ISO 23317:2012. Як фізіологічне середовище за методом екстремального розчину використовували буферний розчин лимонної кислоти (ЛК) з низьким $pH = 3$. Рівень резорбції дослідних зразків було оцінено за втратами їх маси у ЛК ($B_{л.к.}$), % протягом 5 діб при температурі $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Метод моделюючого розчину моделює реальні умови, в основному pH , який відповідає нормальному рівню pH крові людини ($\kappa=7,4$). Як розчинник використовували щойно приготований модельний розчин (МР) з використанням буферного розчину гідроксиметиламінометану (TRIS) та HCl . Для моделювання умов живого організму (*in vivo*) використовували МРО на основі TRIS та HCl та катіонів Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , аніонів Cl^- , HCO_3^{2-} , HPO_4^{2-} . Розчинність дослідних матеріалів за даними методами визначали за приростом маси в МР ($\Pi_{м.р.}$ %) протягом 5 діб та за приростом маси в МРО ($\Pi_{м.р.о.}$ %) протягом 30, 60 та 180 діб при температурі $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Експериментальна частина. З урахуванням вищенаведеного та на базі аналізу складів і властивостей відомих біоактивних стекел та склокристалічних матеріалів для заповнення кісткових дефектів була розроблена скломатриця на основі системи $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{Li}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZrO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{MgO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{SiO}_2$, в межах якої були обрані :

– склади скла Б (мол. %): Na_2O $10 \div 30$, Li_2O $0 \div 5$; CaO $12 \div 20$, P_2O_5 $7 \div 15$, SiO_2 $35 \div 45$; TiO_2 $5 \div 10$; MgO $0 \div 5$ для одержання матеріалів в умовах експлуатації при статичних навантаженнях;

– склади скла БС (мол. %): Na_2O $10 \div 16$, CaO $15 \div 25$, Σ (TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 $0 \div 5$, P_2O_5) $5 \div 10$, SiO_2 $45 \div 55$ для одержання матеріалів в умовах експлуатації при статичних навантаженнях;

– склад скла ЦФ (мол. %): Na_2O $10 \div 15$, CaO $15 \div 25$, B_2O_3 , ZnO $2 \div 8$, P_2O_5 $5 \div 10$, SiO_2 $45 \div 55$ для одержання матеріалів в умовах експлуатації при динамічних навантаженнях

- склад скла АП (мол. %): SiO_2 $53,659 \div 54,411$; K_2O $3,433 \div 3,471$; Na_2O $15,606 \div 15,824$; Al_2O_3 $2,271 \div 2,764$; B_2O_3 $3,162 \div 3,206$; TiO_2 $0 \div 1,637$; ZnO $0 \div 0,797$; P_2O_5 $4,631 \div 7,46$; CaO $13,992 \div 17,248$ для одержання покриттів в умовах експлуатації при динамічних навантаженнях. Для до-

слідження були обрані СКМ та СКП серій Б, БС, ЦФ та АП з різним співвідношенням $\text{CaO/P}_2\text{O}_5$ та вмістом фазоутворюючих оксидів (табл.1).

Таблиця 1. Хімічний склад модельного скла

Відзнаки хімічного складу	Марка модельних стекол									
	Б-1	Б-8	Б-11	АП-7	АП-10	БС-1	БС-2	БС-11	ЦФ-1	ЦФ-3
	Вміст, мол. %									
SiO_2	45	40	45	53,66	54	50	45	55	50	47
$\sum(\text{CaO}+\text{P}_2\text{O}_5)$	20	30	20	21,88	21,53	25	24	25	25	25
$\sum(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}_2\text{O}_3)$	–	–	–	5,43	5,46	5	10	10	10	10
$\sum(\text{TiO}_2+\text{MgO})$	10	10	10	–	–	5	5	–	–	–
ZnO	–	–	–	–	–	–	–	–	5	8
R_2O	25	20	25	19,03	19,14	15	16	10	10	10
$\text{CaO/P}_2\text{O}_5$	1,5	2,0	1,5	3,72	2,3	1,5	2	4	4	1,5

Дослідні матеріали, які характеризуються показниками $V_{\text{л.к}}$ 0,2–2,0 мас.% та після витримки у буферному розчині лимонної кислоти та у буферному розчині TRIS та HCl впродовж 120 годин $V_{\text{м.р}}$ 2,0–8,0 мас.% (табл. 2) мають низький рівень деструкції та можуть бути використані як медичні вироби [6].

Таблиця 2. Деструкція дослідних матеріалів за методами екстремального та моделюючого розчину

Матеріал	Деструкція за ISO 10993-14-2001	
	$V_{\text{л.к}}$, (120 год), мас.%	$V_{\text{м.р}}$, (120 год), мас.%
ЦФ-1	1,1	5,5
ЦФ-3	1,2	6,0
БС-11	0,2	2,0
БС-2	0,4	2,5
БС-1	0,9	5,0
Б-1	2,3	8,0
Б-8	1,5	7,2
Б-11	2,0	7,5
АП-7	1,13	5,0
АП-10	1,25	5,0

Найвищими втратами маси $V_{\text{м.р.о}}$ за період витримки три доби характеризуються матеріали серії Б та АП від 0,08 мас.% для АП-7 та Б-8 до 0,21 мас.% для матеріалу Б-2. Подібна тенденція для матеріалів серії Б і АП зберігається і при збільшенні приросту маси в МРО впродовж 30, 90 та 180 діб (рис. 1). Однак, матеріали серії Б характеризуються більш ви-

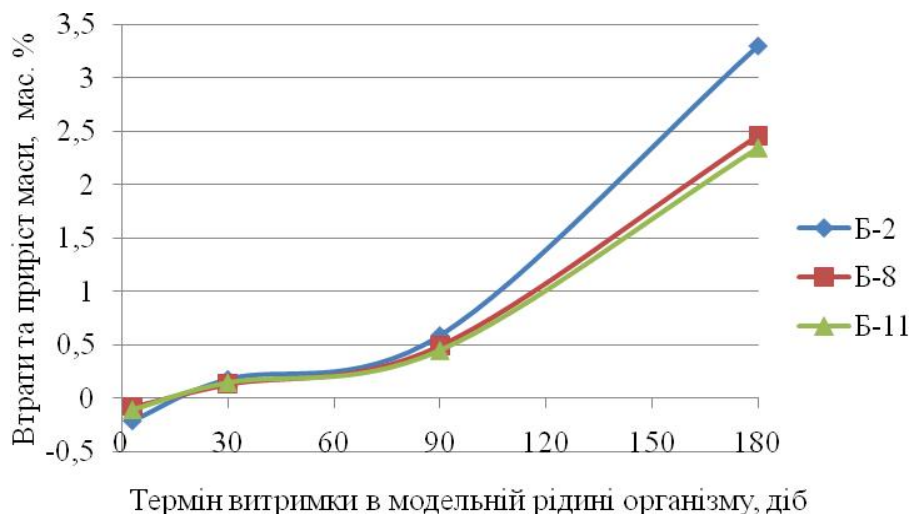
сокими показниками $P_{m.p.o}$ від 2,34 мас.% для Б-11 до 3,3 мас.% для Б-2, аніж матеріали серії АП від 1,6 мас.% для АП-7 до 2,7 мас.% для АП-9, що пояснюється їх характером кристалізації та ступенем зв'язаності кремнекисневого каркасу.

Матеріали серії ЦФ характеризуються показниками $V_{m.p.o}$ впродовж трьох діб близькими до АП-10, що пов'язано з кристалізацією в них КАП змішаного А-В типу. Однак показники $P_{m.p.o}$ для даних матеріалів впродовж 30, 90 та 180 діб є значно меншими і складають лише 0,59 – 0,7 мас. % після витримки півроку. Зниження $P_{m.p.o}$ для матеріалів серії ЦФ при порівнянні з матеріалами серії Б пояснюється здебільшого збільшенням вмісту у їх складі резистивних фаз ГАП та кристобаліту.

Найменші показники $V_{m.p.o}$ 0,03 – 0,05 мас. % та $P_{m.p.o}$ 0,21 – 0,28 мас.% спостерігаються для матеріалів серії БС з найвищим вмістом у складі резистивної фази ГАП.

Низькі показники $V_{m.p.o}$ для матеріалів серії БС позначаються на зменшенні різниці у показниках $P_{m.p.o}$ впродовж 30 – 90 діб, що і впливає на зниження інтенсивності протікання процесу осадження на поверхні даних матеріалів впродовж 180 діб. Для матеріалів серій Б, АП та ЦФ тенденція приросту маси в МРО збільшується впродовж 30 – 90 діб та вказує можливе формування апатитоподібного шару за вказаний період.

В цілому крива приросту маси для усіх дослідних матеріалів та покриттів змінюється за параболічним законом з інтенсифікацією даного процесу в період від 90 до 180 діб (рис. 1).



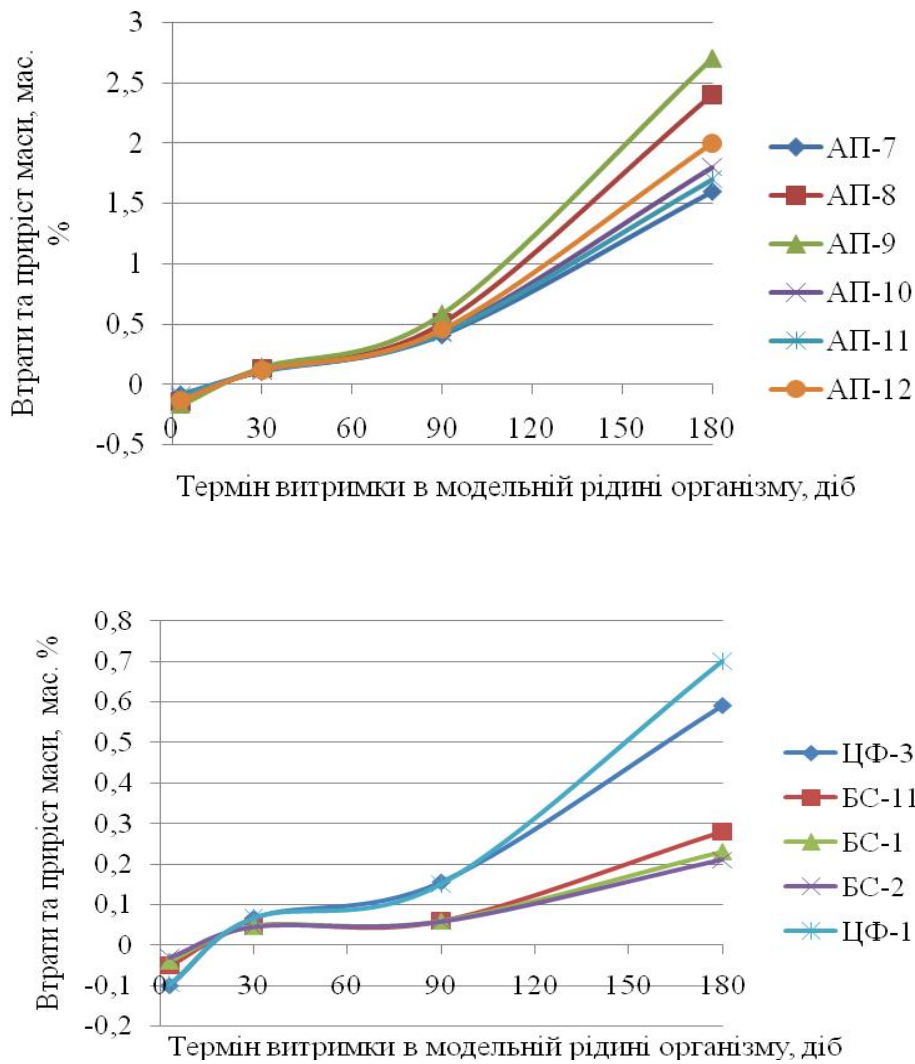


Рис. 1. Втрати та приріст маси дослідних матеріалів та покриттів впродовж 3, 30, 90 та 180 діб витримки в МРО

Висновки. Таким чином, при дослідженні динаміки розчинності дослідних матеріалів у модельному середовищі організму та оцінки біологічної дії матеріалів у фізіологічних рідинах було встановлено, що вони характеризуються низьким рівнем деструкції та інтенсивним приростом маси після 90 діб витримки в МРО, що свідчить про можливість утворення апатитоподібного шару на поверхні дослідних склокристалічних матеріалів та покриттів в умовах *in vitro*, як визначального фактору при формуванні міцного біологічного та механічного зв'язку з кісткою в умовах *in vivo*.

Одержані результати доцільно використовувати при проектуванні складів резорбційних біоактивних склокристалічних матеріалів при створенні ендопротезів в щелепно-лицевій хірургії та ортопедії зі строками зрощування від 3 місяців.

Список литературы: 1. Солунин В.Л. Новые отечественные имплантационные материалы и их применение в клинической практике / В.Л. Солунин, А.Б. Шаповалов, Е.В. Власова, Л.А. То-пилина, А.А. Никитин, Д.А. Никитин, А.В. Кедров // Стекло и керамика. М.: «Ладья». 2010. – № 12. – с. 27–30. 2. Строганова Е.Е. Кристаллизация титаносодержащих кальциевофосфатных стекол / Е.Е. Строганова, Н.Ю. Михайленко // Строение халькогенидных стекол: тез. докл. – Рига: РПИ. 1990. – с. 63–64. 3. Вересов А.Г. Химия биоматериалов на основе фосфатов кальция / А.Г. Вересов, В.И. Путляев, Ю.Д. Третьяков // Журнал Рос. Хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева. 2004. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева. – Т. XLVIII. – № 4. с. 60–64. 4. Саркисов П.Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов / П.Д. Саркисов. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева. 1997. 218 с. 5. ISO/FDIS 23317:2007 Implants for surgery. In vitro evaluation for apatite – forming ability of implant materials. – Vol. 26.05.2007. – Geneva: Draft International Standard. 2007. – 20 s. 6. ГОСТ ISO 10993-14-2011 Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Ч. 14. Идентификация и количественное определение продуктов деструкции керамики. – Введ. 01.01. 2013. – М.: Стандартиформ. 2013. – 13 с.

Bibliography (transliterated): 1. Solunin V.L. Novye otechestvennye implantacionnye materialy i ih primeneniye v klinicheskoy praktike / V.L. Solunin, A.B. Shapovalov, E.V. Vlasova, L.A. Topilina, A.A. Nikitin, D.A. Nikitin, A.V. Kedrov. Steklo i keramika. Moscow: «Ladja». 2010. – No. 12. – P. 27–30. 2. Stroganova E.E. Kristallizacija titansoderzhashhih kal'cievofosfatnyh stekol / E.E. Stroganova, N.Ju. Mihajlenko. Stroenie hal'kogenidnyh stekol: tez. dokl. – Riga: RPI. 1990. – P. 63–64. 3. Veresov A.G. Himija biomaterialov na osnove fosfatov kalcija / A.G. Veresov, V.I. Putljaev, J.D. Tretjakov. Zhurnal Ros. Him. Ob-va im. D.I. Mendeleeva. 2004. Moscow: RHTU im. D.I.Mendeleeva. – T. XLVIII. – No. 4. P. 60–64. 4. Sarkisov P.D. Napravlennaja kristallizacija stekla – osnova poluchenija mnogofunkcional'nyh steklokristallicheskih materialov / P.D. Sarkisov. Moscow: RHTU im. D.I.Mendeleeva. 1997. 218 p. 5. ISO/FDIS 23317:2007 Implants for surgery. In vitro evaluation for apatite – forming ability of implant materials. – Vol. 26.05.2007. – Geneva: Draft International Standard. 2007. – 20 p. 6. GOST ISO 10993-14-2011 Izdelija medicinskie. Ocenka biologicheskogo dejstvija medicinskih izdelij. Ch. 14. Identifikacija i kolichestvennoe opredelenie produktov destrukcii keramiki. Vved. 01.01. 2013. – Moscow: Standartinform. 2013. – 13 p.

Надійшла (received) 4.11.14

Є.В. БАБІЧ, м.н.с., НТУ «ХПІ»

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ СИНТЕЗУ БІОАКТИВНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КІСТКОВОГО ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ

У статті проаналізовано напрямки синтезу склокристалічних матеріалів для кісткового ендопротезування. Визначена перспективність створення на основі кальцій-силікофосфатних стекел біоактивних склокристалічних матеріалів з регульованим рівнем резорбції та механічними властивостями, що відповідають вимогам до кісткових імплантатів. В умовах Харківського казенного експериментального протезно-ортопедичного підприємства і атестованої лабораторії ДЕГЦ ДП «Південна залізниця» успішно проведені дослідно-промислові та дослідно-лабораторні випробування синтезованого склокристалічного матеріалу ЦФ-1. Позитивні результати клініко-біологічних випробувань в умовах ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка» АМНУ підтверджують доцільність використання одержаного склокристалічного матеріалу як кісткового імплантату.

Ключові слова: біоактивні склокристалічні матеріали, фосфати кальцію, гідроксиапатит, резорбція, кісткові ендопротези.

Вступ. В теперішній час для кісткового ендопротезування актуальним є вирішення соціально-економічної задачі, спрямованої на скорочення строків перебування пацієнтів після імплантації у лікувальних установах. Аналіз і узагальнення світових досягнень в області створення і застосування нових медичних біосумісних імплантаційних матеріалів для кісткового ендопротезування свідчить про їх широкі можливості і перспективи розвитку. Особливо важливим є розвиток даного напрямку для України у зв'язку зі значною кількістю травмованого воєнного контингенту та цивільного населення внаслідок бойових дій останнього часу. Згідно з оцінками експертів, у світі за рік виконується більше 600 тис. операцій по заміні та відновленню пошкодженої кісткової тканини. Загальний ринок біоматеріалів у провідних країнах світу оцінюється наступним чином: США – 1,16 млрд. доларів, Японія – 430 млн. доларів, Європа – 230 млн. доларів. Прогнозоване зростання цього сектора – не менш 20 % на рік [1]. За даними аналізу сучасних тенденцій створення біоматеріалів найбільшу кількість публікацій присвячено біосумісним полімерам [2].

© Є.В. Бабіч. 2014

Кількість досліджень по «традиційним» металічним та керамічним матеріалам на основі гідроксиапатиту та фосфату кальцію також достатньо велика. У більшості напрямків досліджень за кількістю публікацій лідирують США, Японія, Німеччина, Англія, Італія та Франція. Внесок українських публікацій найбільш помітний в області композитів (0,8 %), кераміки (0,7 %) та металічних матеріалів (0,6 %). Однак усі спроби виготовити штучний кістковий матеріал з природною складною структурою, який є придатним для клінічного використання, з високою біосумісністю і стабільністю протягом тривалого часу, мають лише відносний успіх.

Основні напрямки створення біоактивних матеріалів. Беручи до уваги склад природної кістки, матеріали на основі фосфатів кальцію, завдяки високій біологічній активності, складають найбільш перспективну групу біоактивних неорганічних матеріалів для кісткового ендопротезування, яка включає [3]: біоактивну кераміку на основі фосфатів кальцію, біокомпозити, біопокриття, біостекла біосклокристалічні матеріали. Цікавість до біоактивних склокристалічних матеріалів, яка різко зросла за останні роки, пояснюється високими фізико-технічними показниками [4]. За міцносними характеристиками біоактивні склокристалічні матеріали поступаються металам, сплавам та міцно спеченій корундовій кераміці, однак їх міцність та тріщиностійкість вищі аніж для біостекол та ГАП кераміки, вони характеризуються біологічною індиферентністю, відсутністю капсулювання зі сполучною тканиною [5] та здатністю зрощуватися із живою кістковою тканиною з утворенням міцного біохімічного зв'язку і досягають рівня параметрів натуральної кістки [6]. Розширену класифікацію склокристалічних матеріалів за реакційною здатністю *in vivo* (в умовах живого організму) запропонували О.В Загородько [7] та Вогель Дж. [8]: 1) резистивні склокристалічні матеріали з малою реакційною здатністю, які стійкі *in vivo* тривалий час. Такі матеріали утворюють зв'язки з білками, тобто відбувається хемосорбція; 2) поверхнево-активні склокристалічні матеріали з середньою реакційною здатністю. На відміну від попередніх матеріалів, дані склокристалічні матеріали не тільки утворюють зв'язки з білками, але є джерелом іонів кальцію, який

стимулює утворення нової кісткової тканини; 3) резорбційні склокристалічні матеріали з високою реакційною здатністю.

Стекла, які повністю засвоюються живим організмом, синтезують на основі системи $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5$ з утворенням кристалічних фаз ГАП, КАП та ТКФ.

Серед резорбційних склокристалічних матеріалів перспективними є склокристалічні матеріали на основі силікофосфатів кальцію, які відрізняються високою біосумісністю завдяки вмісту оксиду кремнію, як важливого перехідного елементу в процесах формування і розвитку хрящових і кісткових структур [9]. Принцип дії таких матеріалів, як імплантатів полягає у формуванні при взаємодії з середовищем організму шару гідратованого силікату, який забезпечуватиме сприятливі місця для утворення зародків апатиту на поверхні імплантату з послідуочим формуванням перехідної аморфно-кристалічної зони з апатитоподібною структурою. Це сприятиме утворенню міцного зв'язку імплантату з кісткою в короткотривалій термін та позитивно позначиться на біоактивних властивостях матеріалу, що визначає перспективність їх використання як кісткових імплантатів, ендопротезів в хірургії і стоматології при заповненні кісткових дефектів.

Найбільш відомі вітчизняні та зарубіжні розробники вказаних матеріалів – фахівці в галузі технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів: Дубок В.А., Шпак А.П., Т.Н. Фальковська, Н.Д. Пінчук (Україна), Хенч Н., Ассман С. (Німеччина); Тадаши Кокубо (Японія); Дейнека Мю (США), Бобкова Н.М. (Республіка Білорусь), Саркісов П.Д., Путляєв В.Н., Бучилін Н.В. (РФ). Результатами їх досліджень є розробка біосумісних апатитвмісних склокерамічних та композиційних матеріалів, які впроваджені у виробництво імплантатів компаніями ЗАО НПО «ПОЛІСТОН» (РФ); Curasan (Німеччина), Geistlich (США), Biotech (Франція), Synthes (Швейцарія) та ін., а також «Синтеко» (Україна), продукція яких домінує на вітчизняному споживчому ринку. Але застосування імплантатів вказаного призначення значною мірою обмежується тривалими строками їх зрощування з кісткою близько шести місяців та недостатньою механічною міцністю в умовах динамічних навантажень. Це обумовлює актуальність одержання вітчизняних біосумісних високоміцних імплантатів, які відрізнятимуться від

існуючих прискореними строками зрощування з кісткою, значно більшою технологічністю та меншою вартістю.

Розробка резорбційних кальцісилікофосфатних склокристалічних матеріалів. Для досягнення цієї мети вперше в Україні в НТУ «Харківський політехнічний інститут» виконано комплекс досліджень щодо розробки експериментальних складів біоактивних кальційсилікофосфатних склокристалічних матеріалів, встановлення механізму їх структуро- і фазоутворення та методів регулювання фізико-хімічних властивостей і технологічних параметрів їх одержання в лабораторних та дослідно-промислових умовах.

Результатом виконання роботи є створення нового біоактивного кальційсилікофосфатного склокристалічного матеріалу ЦФ-1 для кісткового ендопротезування, а також проектів технічної документації на його виготовлення.

В умовах Харківського казенного експериментального протезно-ортопедичного підприємства і атестованої лабораторії ДЕЦ ДП «Південна залізниця» (м. Харків) успішно проведені дослідно-промислові та дослідно-лабораторні випробування, та встановлено, що розроблений матеріал за механічними властивостями та рівнем деструкції відповідає вимогам до склокристалічних імплантатів, які використовуються при змінних навантаженнях на кісткову тканину (табл. 1).

Таблиця 1. Властивості склокристалічного матеріалу ЦФ-1

Властивості склокристалічного матеріалу					
Мікротвердість H , МПа	Твердість за Вікерсом HV , МПа	Тріщинистість- кість K_{IC} , МПа·м ^{1/2}	Міцність на стиск σ_{cm} , МПа	Втрати маси, %	
				Дистильована вода	Буферний розчин лимонної кислоти
6290	4800	1,48	120	0,85	1,1

Позитивні результати клініко-біологічних випробувань в умовах ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка» АМНУ підтверджують доцільність використання одержаного біоактивного склокристалічного матеріалу ЦФ-1 як кісткового імплантату зі строками зрощування з кісткою близько трьох місяців.

Висновок.

В статті проаналізовано напрямки синтезу склокристалічних матеріалів для кісткового ендопротезування.

Встановлено, що використання біоактивного резорбційного кальційсилікофосфатного склокристалічного матеріалу ЦФ-1 дозволить значно скоротити термін реабілітації пацієнтів, підвищити конкурентну спроможність кісткових ендопротезів та суттєво знизити імпортозалежність в даній галузі.

Список літератури: 1. Саркисов П.Д. Пористые материалы на основе стекла / П.Д. Саркисов, Е.Е. Строганова, Н.В. Михайленко, Н.В. Бучилин // Стекло и керамика. – Нью-Йорк. 2008. – №10. – С. 13 – 16. 2. Тихоновский М.А. Биоматериалы: анализ современных тенденций развития на основе данных об информационных потоках / М.А. Тихоновский, А.Г. Шепелев, Х.В. Кутнин, О.В. Немешкало // Вопросы атомной науки и техники. – Х.: Национальный научный центр "ХФТИ". 2008. – № 1. (17). – С.166 – 172. 3. Дубок В.А. Биокерамика – вчера, сегодня, завтра / В.А. Дубок // Порошковая металлургия. – Київ: Інститут проблем матеріалознавства НАН України. 2000. – №7/8. – С. 69 – 87. 4. Арипова М.Х. Биосовместимая стеклокерамика / М.Х. Арипова, З.А. Бабаханова // Стекло и керамика. – Москва:РХТУ ім. Д.І. Менделєєва. 1998. – № 10. – С.28 – 29. 5. Дорожкин С.В. Биокерамика на основе ортофосфатов кальция. Стекло и керамика. – Москва:РХТУ ім. Д.І. Менделєєва. 2007. – № 12. – С. 26 –31. 6. Шпак А.П. Апатиты / Шпак А.П., Карбовский В.Л. Ткачевский В.В. – К.: Академперіодика, 2002. – 414 с. 7. Загородько О.В. Загальна характеристика основних остеозаміщувальних імплантатів для кісткової пластики / О.В. Загородько, Н.Г. Антонюк, А.Ф. Бурбан // Магістеріум. – К.:Видавничий дім "Києво-Могилянська академія". 2008. – Вип. 33: Хімічні науки. – С. 29 – 35. 8. Vogel J. Phosphate glasses and glass-ceramics for medical application / J. Vogel, P. Wange, P. Hartman // Glastechnische berichte-glass science and technology – United Kingdom. 1997. – Vol. 70. – № 7. – P. 220 – 223. 9. Белецкий Б.И. Кремний в живых организмах и биоконпозиционных материалах нового поколения / Б.И. Белецкий, Н.В. Свентская // Стекло и керамика. – Москва:РХТУ ім. Д.І. Менделєєва. 2009. – № 3. – С. 26 – 30.

Bibliography (transliterated): 1.Sarkisov P.D. Poristye materialy na osnove stekla /P.D. Sarkisov, E.E. Stroganova, N.V. Mikhailenko, N.V. Buchilin. Steklo i keramika. – New York. 2008. – No. 10. – P. 13–16. 2. Tikhonovskii M.A. Biomaterialy: analiz sovremennykh tendentsii razvitiya na osnove dannykh ob informatsionnykh potokakh / M.A. Tikhonovskii, A.G. Shepelev, Kh.V. Kutnin, O.V. Nemeshkalo. Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. – Kharkov. Natsional'nyi nauchnyi tsentr"Khar'kovskii fiziko-tekhnicheskii institut". 2008. – No. 1. (17). – P.166–172. 3. Dubok V.A. Biokeramika – vchera, segodnya, zavtra / V.A. Dubok. Poroshkovaya metallurgiya. – Kiiv. Institut problem materialoznavstva im. I.M. Frantsevicha NAN Ukraïni. 2000. – No. 7/8. – P. 69–87. 4. Aripova M.Kh. Biosovmestimaya steklokeramika / M.Kh. Aripova, Z.A. Babakhanova. Steklo i keramika. – 1998. – No. 10. – P. 28–29. 5. Dorozhkin S.V. Biokeramika na osnove ortofosfatov kal'tsiya / S.V. Dorozhkin. Steklo i keramika. – Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleeva. 2007. – No. 12. – P. 26–31. 6. Shpak A.P. Apatity / Shpak A.P., Karbovskii V.L. Tkachevskii V.V. – Kiev: Akademperiodika, 2002. – 414 p. 7. Zagorod'ko O.V. Zagal'na kharakteristika osnovnikh osteozamishchival'nikh implantativ dlya kistkovoï plastiki / O.V. Zagorod'ko, N.G. Antonyuk, A.F. Burbana. Magisterium. – Kyiv.:Vidavnichii dim "Kievo-Mogilyans'ka akademiya". 2008. – Vipusk 33: Khimichni nauki. – P. 29–35. 8. Vogel J. Phosphate glasses and glass-ceramics for medical application / J. Vogel, P. Wange, P. Hartman // Glastechnische berichte-glass science and technology – United Kingdom. 1997. – Vol. 70. – No. 7. – P. 220–223. 9. Beletskii B.I. Kremnii v zhivykh organizmakh i biokompozitsionnykh materialakh novogo pokoleniya / B.I. Beletskii, N.V. Sventskaya. Steklo i keramika. – Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleeva. 2009. – No. 3. – P. 26–30.

Г.К. ВОРОНОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С
НИЗКИМ ТКЛР В СИСТЕМЕ $PbO-ZrO_2-R_2O_3-SiO_2$**

В статье рассмотрена возможность создания стеклоприпоев с низким коэффициентом линейного расширения и температурой наплавления для спаивания деталей микроэлектроники с высоким содержанием кремния. Установлены области стеклообразования в системе $PbO-B_2O_3-Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$ и характер распределения значений коэффициента линейного расширения стекла. Синтезированы образцы стекол, определена их способность к кристаллизации. Получены образцы стеклоприпоев и исследованы их технологические свойства. Сделаны выводы о возможности практического применения синтезированных стеклоприпоев.

Ключевые слова: стеклоприпой, стеклоформирующая система, кристаллическая фаза, коэффициент расширения температура спаивания.

Введение. В настоящее время легкоплавкие стекла, стеклоприпой и стеклоцементы широко используются в электронной технике, микроэлектронике и других областях науки и техники для изготовления различных приборов. Легкоплавкие стеклоцементы и композиционные припоечные материалы используются также для склеивания конуса к экрану электронно-лучевых трубок различного назначения, где в качестве экрана используются такие материалы, как лейкосапфир, волоконнооптические пластины и т.д. В качестве материала конуса используются различные составы электровакуумных стекол, алюмооксидная керамика и т.д. Легкоплавкие стекла с высоким показателем преломления используются для изготовления стекломикрошариков в производстве разноцветных светоотражающих пленочных материалов для дорожной сигнализации. Большая область их применения в качестве эмалей и покрытий декоративного назначения на изделия из фарфора, фаянса, керамики, стекла и эмальпосуды. Одной из важнейших сфер применения легкоплавких стеклоприпоев является область создания гибридных интегральных микросхем (ГИС), где эти стекла используются в составах изоляционных, резистивных и проводниковых паст. Диэлектрическая изоляция элементов интегральной схемы обеспечивает радиационную устойчивость, а также

устраняет взаимодействия между элементами. В настоящее время существует несколько методов диэлектрической изоляции в микроэлектронике. Способ изоляции определяется типом электронного прибора, его назначением, техническими характеристиками его работы, и, соответственно, от вида изоляции зависит выбор материала диэлектрика. Таким образом, широкое применение легкоплавких многосвинцовых стекол обуславливает их важность в деле развития различных областей науки и техники [1–2]. Основой этих материалов, в большинстве случаев, являются стекла систем $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{PbO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-SiO}_2$, $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-SiO}_2$, $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-SiO}_2$. Известен ряд составов легкоплавких стекол, используемых для получения прозрачных диэлектрических покрытий и спаев для различных материалов с температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) $(40\div 120)\cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ [3–4]. Между тем анализ составов этих материалов указывает на то, что они разработаны, в основном, в очень узких областях указанных стеклообразующих систем где содержание токсичного компонента – окиси свинца – находится в пределах 60–90 масс. %. Такие стекла используются, главным образом, для спаивания керамических материалов и металлов, и наряду с низкой температурой спаивания имеют достаточно высокий ТКЛР, что не позволяет использовать в некоторых областях конструирования микроэлектроники.

Экспериментальная часть. В работе было рассмотрено применение стеклоприпоев при использовании метода «слоистых структур», который заключается в спаивании пластин кремния в многослойные «сендвичи», что используется при конструировании тензодатчиков, применяемых в различных областях техники [5]. Для реализации указанного метода необходимо было создание стеклоприпоя со следующими требованиями: ТКЛР стекла должно быть не выше $35\cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$; температура спаивания стеклоприпоя не выше $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Для решения этой задачи были выбраны 2 системы: $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2\text{-SiO}_2$ и $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-SiO}_2$. С учетом данных научно-технической и патентной литературы в этих системах были выбраны области в виде псевдотройных систем – $\text{PbO}+\Sigma\text{-B}_2\text{O}_3+\Sigma\text{-SnO}_2+\Sigma$ и $\text{PbO}+\Sigma\text{-B}_2\text{O}_3+\Sigma\text{-ZrO}_2+\Sigma$ (где $\Sigma \text{ Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2 = 20 \text{ мас. \%}$) с ограниченным содержанием основных компонентов, в кото-

рых симплекс-решетчатого метода планирования определен характер распределения коэффициентов линейного расширения – рис. 1.

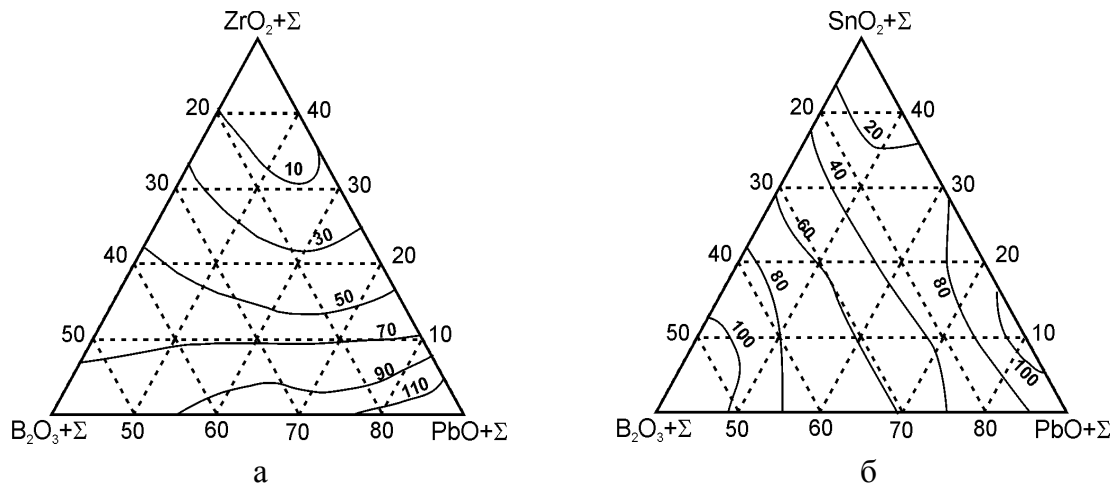


Рис. 1. Распределение ТКЛР в псевдотройных системах: а – $PbO+\Sigma-B_2O_3+\Sigma-SnO_2+\Sigma$ (где Σ - $Al_2O_3+SiO_2$); б – $PbO+\Sigma-B_2O_3+\Sigma-ZrO_2+\Sigma$ (где Σ - $Al_2O_3+SiO_2$)

Как показывает анализ приведенных данных в системе $PbO+\Sigma-B_2O_3+\Sigma-SnO_2+\Sigma$ стекла имеют необходимые значения ТКЛР в области с содержанием SnO_2 выше 30 мас. %, приводит к кристаллизации стекол при варке. В связи с этим для дальнейших исследований и использовались только стекла системы $PbO+\Sigma-B_2O_3+\Sigma-ZrO_2+\Sigma$ (рис. 2).

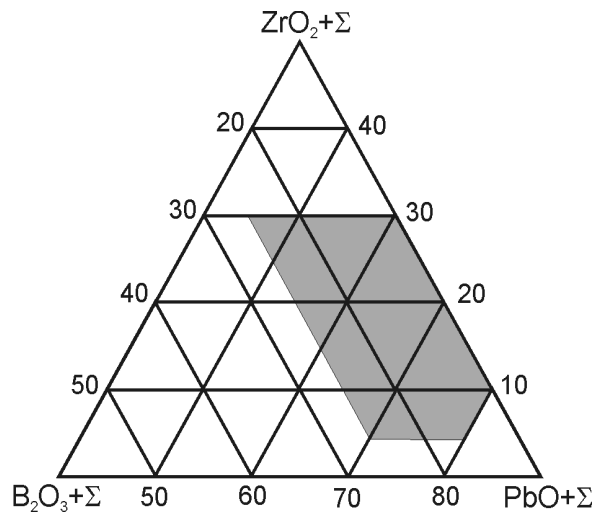


Рис. 2. Область составов синтезированных стекол в псевдотройной системе $PbO+\Sigma-B_2O_3+\Sigma-ZrO_2+\Sigma$

Варку стекол производили в лабораторной электрической печи с карборундовыми нагревателями при температуре 1250–1270 °С. Оценку

наличия кристаллической фазы в стеклах оценивали визуально под микроскопом и с помощью рентгено-дифракционного анализа (РФА) – рис. 3.

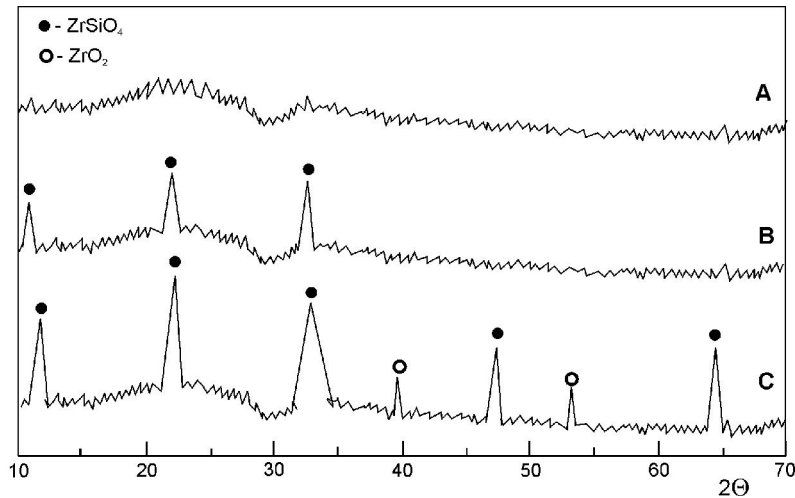


Рис. 3. Дифрактограмма экспериментальных стекол с различным содержанием оксида циркония: А – стекла с содержанием ZrO_2 5-10 мас. %; В – стекла с содержанием ZrO_2 10-20 мас. %; С – стекла с содержанием ZrO_2 20-30 мас. %

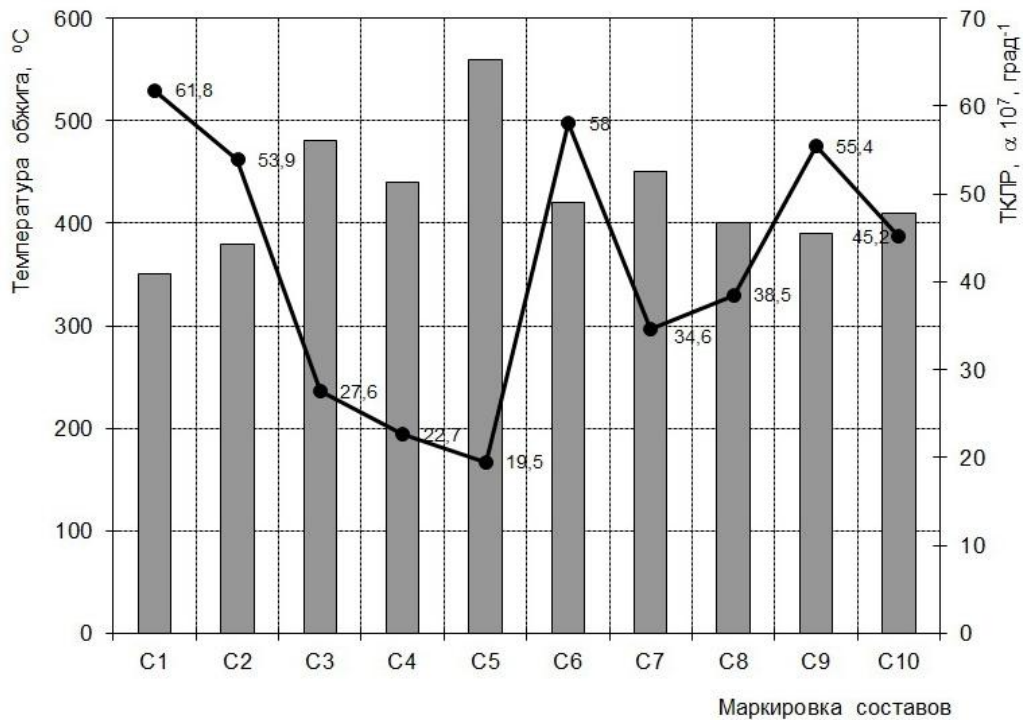


Рис. 4. Соответствующие значения коэффициента линейного расширения и температуры размягчения синтезированных стекол

Как показывают данные РФА в стеклах с содержанием ZrO_2 выше

12 мас. % наблюдается присутствие кристаллической фазы в виде циркона, наличие которой не фиксируется визуально. Стекла с содержанием ZrO_2 выше 20 мас. % имеют после варки хорошо видимую под микроскопом кристаллическую фазу циркона и кристаллического оксида циркония. ТКЛР готовых стекол контролировали dilatометрическим методом, а температуру размягчения стекол на приборе конструкции Новочеркасского политехнического института. Результаты этих исследований показаны на рис. 4.

Заключение. По результатам приведенных данных в качестве конечного образца было выбрано стекло С4, которое имеет ТКЛР ниже $25 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ и температуру размягчения 440 °С.

В виде стеклоприпоя для спаивания кремниевых элементов тензодатчиков был использован порошок из указанного стекла с тониной помола 80–120 мкм.

Испытания припоя показали его пригодность для спаивания деталей микроэлектроники с высоким содержанием SiO_2 в составе (низким собственным ТКЛР) при относительно низких температурах пайки и отсутствие напряжений в напаянном слое.

Список литературы: 1. Стучебников В.М. Микроэлектронные датчики за рубежом. // Приборы и системы управления, 1993, № 1, с.18–21. 2. Раскин А.А. Технология материалов электронной техники / А.А. Раскин, А.А. Картушина, Н.В. Баровский // М.: МИЭТ, 1999. 3. Бачин В.А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами / В.А. Бачин // М.: Машиностроение, 1986. – 184 с. 4. Любимов М.Л. Спаи металла со стеклом / М.Л. Любимов // М. Энергия, 1968. 280с. 5. Ваганов В.И. Интегральные тензопреобразователи / В.И. Ваганов В.И. // М.: Энергоатомиздат, 1983, 137 с.

Bibliography (transliterated): 1. Stuchebnikov V.M. Mikrojelektronnye datchiki za rubeschom. Pribory i sistemy upravlenija, 1993, No. 1, P. 18–21. 2. Raskin A.A. Tehnologija materialov jelektronnoj tehniky / A.A. Raskin, A.A. Kartubina, N.V. Barovskij. Moscow: MIJeT, 1999. 3. Bachin V.A. Diffuzionnaja svarka stekla i keramiki s metallami / V.A. Bachin. Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 184 p. 4. Ljubimov M.L. Spai metalla so steklom / M.L. Ljubimov. Moscow: Jenergija 1968. – 280 p. 5. Vaganov V.I. Integral'nye tenzopreobrazovateli / V.I. Vaganov V.I. Moscow: Energoatomizdat, 1983, – 137 p.

Надійшла (received) 5.10.14

Г.М. ШАДРИНА, аспірант НТУ «ХП»

СУЧАСНІ РІШЕННЯ ПРИ СТВОРЕННІ БІОАКТИВНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ ПОКРИТТІВ ПО ТИТАНУ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті наведено основні проблеми при створенні та довготривалому використанні біоактивних компонентів імплантатів кульшового суглобу та нижньої щелепи. Розглянуто шляхи покращення біосумісності та механічних характеристик існуючих матеріалів даного призначення. Встановлено, що сучасним вирішенням проблеми нестабільності імплантату є створення кальційсилікофосфатного склокристалічного покриття з об'ємно закристалізованою структурою. Запропоновано технологічну схему одержання біоактивних склокристалічних покриттів по титановим сплавам. Досліджено основні показники експлуатаційних, механічних та хімічних властивостей одержаних покриттів. Обґрунтовано можливість використання одержаних матеріалів на навантажувальних ділянках кістки.

Ключові слова: кальційфосфатні покриття, біосумісність, титанові сплави, шлікерна технологія.

Вступ. На сучасному етапі розвитку ендопротезування стегнового компоненту кульшового суглобу, а також нижньої щелепи на перший план виходить проблема асептичного розхитування імплантату після первинного тотального ендопротезування [1, 2]. Бажання знизити частоту даного виду ускладнення, що обумовлене імунною реакцією на матеріали ендопротеза і продукти їх деструкції та біомеханічною невідповідністю, стимулювало розробку імплантатів з поліпшеними властивостями [1]. До таких матеріалів можна віднести титанові імплантати з облицюванням кальційфосфатними (КФ) матеріалами. Зростаюча за останні роки цікавість до КФ матеріалів і, зокрема, до гідроксиапатиту (ГАП), що є основним неорганічним мінеральним компонентом кісткової тканини, обумовлена їх унікальними властивостями та широким спектром можливих і вже реалізованих застосувань у медицині [2]. У даному випадку перспективність створення ендопротезів на основі композиції з титанового каркасу та КФ покриття визначається одночасним забезпеченням високої біологічної та механічної сумісності імплантату [1].

© Г.М. Шадріна. 2014

Традиційним способом нанесення даного типу покриття є плазмове напилення. Однак, вплив високих температур на ГАП призводить до його фазового розкладання та аморфізації. Це в свою чергу збільшує розчинність покриття. Крім того збільшення товщини покриття до значень, необхідних для остеоінтеграції ($\sim 120\div 200$ мкм), призводить до його відшаровування [3], а низька тріщиностійкість ГАП покриттів [2] обмежує області їх застосування. Вирішення даної проблеми, а також досягнення оптимального результату при ендопротезуванні, може бути досягнуто за рахунок нанесення склокристалічних КФ покриттів за шлікерною технологією. Можливість утворення в разі склокристалічних матеріалів дрібнодисперсної структури з розміром кристалів ~ 1 мкм, а також наявність тонких прошарків склофази, є запорукою високої міцності кінцевого продукту [4]. Це є передумовою їх використання на навантажуваних ділянках кістки, таких як стегно та нижня щелепа.

Однак, при отриманні склокристалічних КФ покриттів за шлікерним методом виникає проблема низької адгезійної міцності [3]. Причиною цьому слугує відмінність в температурному коефіцієнті лінійного розширення (ТКЛР) покриття та титану, крупний розмір кристалічної фази покриття, а також наявність крихкого альфованого шару значної товщини на поверхні титану та його сплавів [5].

Вирішення даних проблем дозволить одержати бездефектне біоактивне покриття по титану для створення ендопротезів направленої функціонального призначення, що і визначає актуальність даної роботи.

Постановка мети та методика дослідження. Метою даної роботи була розробка складів біоактивних склокристалічних покриттів та технології їх нанесення на титан. Наявність кристалічної фази в стеклах та покриттях було встановлено за допомогою рентгенофазового аналізу (РФА), який проводили на установці «ДРОН-3М». Петрографічний аналіз здійснювали на оптичному мікроскопі Мі-2е зі збільшенням до 1000 разів. Відносне подовження матеріалу при нагріванні визначали на вертикальному кварцовому дилатометрі та розраховували ТКЛР для кожного температурного інтервалу. Товщину покриття визначали з використанням гладкого мікрометра МК25-1 (ГОСТ 6507-90). Мікрорельєф поверхні покриттів вивчали за допомогою профілографа типу Surtronic 3+ profilometer.

Середнє арифметичне відхилення профілю (R_a) визначали згідно ГОСТ 2789-73. Оцінку поверхневої енергії покриттів здійснювали непрямым методом, запропонованим Оуенсом–Вендтом–Рабелем–Каелбле. Міцність зчеплення покриття з металом визначали за межею міцності на зсув, яку вимірювали на розривній машині типу TIRA test 2300 згідно з ГОСТ Р 52641-2006. Твердість за Віккерсом HV (ГОСТ 9450-76) та тріщиностійкість K_{1C} визначали шляхом вдавлення піраміди Віккерса при навантаженні на піраміду 49 Н за 5 вимірами на ТМВ-1000. Розчинність покриттів визначали за втратами маси після витримки у дистильованій воді протягом 30 діб. Оцінку біологічної дії покриттів у фізіологічних рідинах було проведено за методами екстремального (витримка протягом 5 діб при температурі 37 °С у буферному розчині лимонної кислоти) та моделюючого розчину (витримка протягом 5 діб при температурі 37 °С у буферному розчині TRIS-HCl) за ISO 10993-14-2011, а також в модельній рідині організму (SBF) за ISO/FDIS 23317:2014.

Експериментальна частина. Створення імплантатів для ніжки ендопротезу кульшового суглобу здійснювали на основі композиції з титанового сплаву BT5 та склокристалічних покриттів з маркуванням Т, синтезованих в системі: $R_2O - RO - RO_2 - CaF_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$, де $R_2O - Na_2O, K_2O$; $RO - CaO, ZnO, MgO, SrO$; $RO_2 - TiO_2, ZrO_2$; $R_2O_3 - Al_2O_3, V_2O_3$. Створення імплантатів для щелепно-лицевої хірургії здійснювали на основі композиції з титанового сплаву OT4-1 та склокристалічних покриттів з маркуванням АП, синтезованих в системі: $R_2O - RO - RO_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$, де $R_2O - Na_2O, K_2O$; $RO - CaO, ZnO$; $RO_2 - TiO_2$; $R_2O_3 - Al_2O_3, V_2O_3$. Введення V_2O_3 у кількості 5÷8 мас. % до складу всіх модельних стекол серії АП позитивно позначається на зниженні температури варки скла та випалу покриттів, що дає можливість отримати бездефектні склокристалічні покриття по даному сплаву. Для отримання склокристалічних покриттів з високим рівнем біосумісності необхідним є протікання в них процесу тонкодисперсної кристалізації з наявністю фосфатів кальцію (ФК), як головної передумови прояву біоактивності всього матеріалу. Варку модельного скла проводили в однакових умовах при температурах 1300÷1480 °С протягом 6 годин в корундових тиглях з подальшим охолодженням на металевому листі. Як дослідні були обрані стекла Т3 та АП-10 з наявністю тонкодисперсної кристалізації ФК та не-

обхідними значеннями ТКЛР та розчинності. Біоактивні покриття отримували за технологічною схемою, яка наведена на рис. 1.

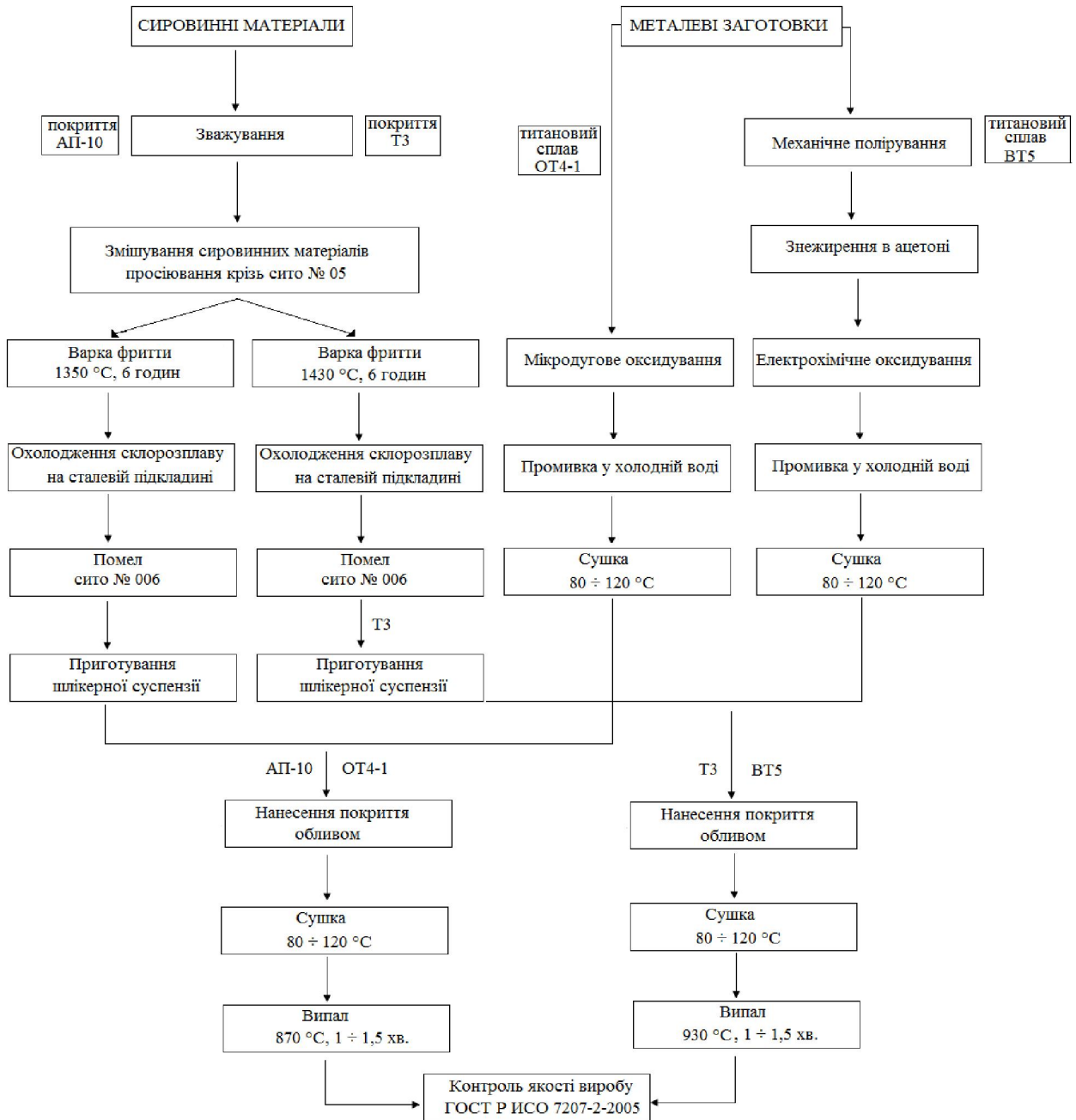


Рис. 1. Технологічна схема та параметри отримання біоактивних склокристалічних покриттів по титановим сплавам

Підвищення міцності зчеплення склокристалічного КФ покриття з металом може бути досягнутою при використанні комбінованого методу формування покриття із застосуванням мікродугового або електрохімічного оксидування титану з подальшим нанесенням покриття за шлікер-

ною технологією. Першим етапом була підготовка поверхні зразків, виготовлених з титанових сплавів типу OT4-1 та BT5 з хімічним складом за ГОСТ 19807-91 для застосування як медичний виріб згідно з ISO 5832/III. В якості методів підготовки поверхні зразків зі сплаву OT4-1 були обрані піскоструменева обробка (ПО) або механічне полірування з наступним знежиренням в ацетоні. ПО проводили з дотриманням вимог до титан-керамічних облицювань [6]: шліфпорошок електрокорунду нормального марки 14А зернистістю F120 згідно з ГОСТ 3647-80 та ИСО 8486-86 та хімічним складом за ГОСТ 28818-90; максимальний тиск з сопла 2 бар; напрямок потоку шліфпорошку під прямим кутом до поверхні.

Після механічної обробки було здійснено електрохімічне оксидування (ЕХО) даного сплаву для створення проміжного шару між металом та покриттям для забезпечення умов для підвищення адгезійної міцності. ЕХО здійснювали при постійному струмі в наступних умовах: ванна з поліпропілену, об'ємом 700 л; склад розчину $180 \div 200$ г/л H_2SO_4 ГОСТ 2184-77, температура розчину $13 \div 25^\circ C$; анодна щільність струму $2,5$ А/дм², напруга 25 В; час процесу 0,5 хв. Після закінчення оксидування зразки промивали у проточній холодній воді. При даному режимі процесу на поверхні титанового сплаву формується оксидний шар TiO_2 нестехіометричного складу [7] товщиною $< 0,2$ мкм [3].

Підготовка поверхні титанового сплаву BT5 включала мікродугове оксидування, яке здійснювали при наступному підібраному режимі: ванна з нержавіючої сталі, об'ємом 3,5 л; склад розчину $170 \div 180$ г/л H_3PO_4 ГОСТ 10678-76, температура розчину $20^\circ C$; частота 50 Гц; початкова щільність струму $100 \div 125$ А/дм²; кінцева напруга 140 В; час процесу 2 хв. Після закінчення оксидування зразки промивали у проточній холодній воді. В наступних умовах формувався підшар TiO_2 стехіометричного складу товщиною $10 \div 20$ мкм. Біосумісні покриття за шлікерною технологією отримували шляхом нанесення шлікерної суспензії на зразки титанових сплавів. Для забезпечення шару покриття $100 \div 200$ мкм [3] просіювання порошку скла здійснювали на ситі з $10 \cdot 10^3$ отв./см². Шлікерні суспензії отримували змішуванням порошку скла (С) з розміром зерен < 60 мкм і водного розчину на основі ксантанової камеді (0,2 мас. % РКсК) при співвідношенні С: РКсК = 1,5. Одержані суспензії наносили обливом

на поверхню металу. Зразки з нанесеними покриттями висушували при температурах $80 \div 120^\circ\text{C}$ та випалювали при $- 820^\circ\text{C}$ для АП-10 та 930°C для ТЗ впродовж $1 \div 1,5$ хв. Випал покриттів здійснювали при температурі $\leq 930^\circ\text{C}$ для запобігання поліморфних перетворень та активного окислення титанових сплавів ОТ4-1 і ВТ5 з утворенням крихкого альфованого шару значної товщини, а також деформації самого виробу [5]. Маркування покриттів відповідає маркуванню скла, на основі якого вони були отримані. Встановлено робочі параметри для отримання покриттів на титанових сплавах: тонина помелу в межах $3,0 \div 3,5$ ° БС (синє сито), щільність – $1,65 \div 1,7$ г/см³, криюча здатність – $7,75 \div 8,0$ г/дм². В результаті проведення зазначених технологічних операцій було отримано склокристалічні покриття з наявністю ФК розміром $1 \div 3$ мкм у кількості $33 \div 40$ об.% та з високими механічними властивостями (таблиця 1), що дозволяє використовувати їх в якості біоактивної складової для ендопротезів кульшового суглобу та нижньої щелепи.

Таблиця 1. Властивості біоактивних склокристалічних покриттів

Параметр	Склокристалічні покриття		Стандарти, що регламентують властивості виробів
	ТЗ	АП-10	
Хімічні властивості та властивості поверхні			
Розмір кристалів, мкм	1 ÷ 3	1 ÷ 3	≤ 5 ISO 6474-1:2010
Втрати маси у дистильованій воді, %	0,420	0,85	ГОСТ Р 52770-2007
Втрати маси в буферному розчині лимонної кислоти, %	низькі 0,689	низькі 1,13	<100 % ГОСТ ISO 10993-14-2011
Втрати маси в буферному розчині TRIS-HCl, %	низькі 1,27	низькі 5,0	<100 % ГОСТ ISO 10993-14-2011
Утворення апатитоподібного шару в SBF	+	+	ISO/FDIS 23317:2014
Параметр шорсткості поверхні, R _a , мкм	3,4	10	1 ÷ 10
Вільна енергія поверхні, мДж/м ²	60	51	50 ÷ 120
Механічні, технологічні та термічні властивості			
Твердість за Віккерсом, HV, МПа	5660	5440	≥ 5000 ÷ 6800
Тріщиностійкість, K _{1C} , МПа·м ^{1/2}	2,73	2,01	2 ÷ 12
Адгезійна міцність, σ _{адг} , МПа	16	17	≥ 15 ISO 13779-2
Товщина покриття, h, мкм	150	150	100 ÷ 200
Температура випалу, °C	930	870	≤ 930
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, α, ·10 ⁻⁷ град ⁻¹	106,5	130	90 ÷ 130 ГОСТ Р 51736-2001

Висновки. В роботі отримано біоактивні склокристалічні покриття по титану за комбінованою технологією з застосуванням мікродугового та електрохімічного оксидування металу та наступного нанесення покриття за шлікерною технологією. Формування об'ємно закристалізованої структури покриттів з наявністю фосфатів кальцію розміром 1÷3 мкм є запорукою високої міцності даних матеріалів.

Встановлено, що розроблені покриття характеризуються механічними властивостями і адгезійною міцністю в межах допустимих значень для створення імплантатів, які експлуатуються на динамічно навантажуваних ділянках кістки.

Список літератури: 1. Сеидов И. И. Клинико-рентгенологическое обоснование применения бедренных компонентов проксимальной фиксации при эндопротезировании тазобедренного сустава / И.И. Сеидов, Н.В. Загородний, К. Хаджихараламбус, Н.М. Веель // Гений ортопедии. – Курган: ФГБУ «РНЦ ВТО» им. Г.А. Илизарова. 2012. – № 1. – с. 19–24. 2. Сохань С.В. Пути совершенствования современного эндопротеза тазобедренного сустава / С.В. Сохань, Н.В. Ульянович, Л.Д. Кулак, Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь: «СевНТУ». 2012. – Вип. 133. – с. 316–322. 3. Карлов А.В., Шахов В.П. Системы внешней фиксации и регуляторные механизмы оптимальной биомеханики / А.В. Карлов, В.П. Шахов. – Томск: СТТ. 2001. – 480 с. 4. Саркисов П.Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов / П.Д. Саркисов. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 1997. – 218 с. 5. Литвинова Е.И. Металл для эмалирования. – М.: Металлургия. 1964. – 180 с. 6. Модестов А. Титан – материал для современной стоматологии / А. Модестов // Зубной техник. – М.: «Медицинская пресса». 2003. – №3(38). – с. 43–46. 7. Родионов И.В. Анодно-оксидные биосовместимые покрытия титановых дентальных имплантатов / И.В. Родионов // Технологии живых систем. – М.: МГУ им. Ломоносова. 2006. – Т.3 – №4. – с. 28 – 32.

Bibliography (transliterated): 1. Seidov I.I. Kliniko-rentgenologicheskoe obosnovanie primeneniya bedrennykh komponentov proksimal'noi fiksatsii pri endoprotezirovanii tazobedrennogo sustava / I.I. Seidov, N.V. Zagorodnii, K. Khadzhikharalambus, N.M. Veyal. Genii ortopedii. – Kurgan. FHBU «RRC WTO» im. G.A. Ylyzarova. 2012. – No. 1. – P. 19–24. 2. Sokhan S.V. Puti sovershenstvovaniya sovremennogo endoproteza tazobedrennogo sustava / S.V. Sokhan, N.V. Ulyanchich, L.D. Kulak, Y.S. Borisov, S.G. Voinarovich. Visnik SevNTU: zb. nauk. pr. Seriya: Mekhanika, energetika, ekologiya. – Sevastopol. «SevHTU». 2012. – Vip. 133. – P. 316–322. 3. Karlov A.V., Shakhov V.P. Sistemy vneshnei fiksatsii i regulyatornye mekhanizmy optimal'noi biomekhaniki / A.V. Karlov, V.P. Shakhov. – Tomsk. STT. 2001. – 480 p. 4. Sarkisov P.D. Napravlennaya kristalliza-tsiya stekla – osnova polucheniya mnogofunktsional'nykh steklokristallicheskich materia-lov / P.D. Sarkisov. – M. RKhTU im. D.I. Mendeleeva. 1997. – 218 p. 5. Litvinova E.I. Metall dlya emalirovaniya / E.I. Litvinova. – Moscow: Metallurgiya. 1964. – 180 p. 6. Modestov A. Titan – material dlya sovremennoi stomatologii / A. Modestov. Zubnoi tehnik. – Moscow: «Medytsynskaya Pressa». 2003. – No. 3(38). – P. 43–46. 7. Rodionov I.V. Anodno-oksidnye biosovmestimye pokrytiya titanovykh dental'nykh implantatov / I.V. Rodionov. Tekhnologii zhivykh sistem. – Moscow: MGU im. Lomonosova. 2006. – T.3 – No. 4. – P. 28–32.

Надійшла (received) до редколегії 4.11.14

О.П. ОДИНЦОВА, аспирантка, НТУ «ХПИ»;

О.В. ШАЛЫГИНА, канд. тех. наук, НТУ «ХПИ»;

Л.А. ГАВРИЛИНА, магистр, НТУ «ХПИ»

МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИЕ БЕЗГРУНТОВЫЕ СТЕКЛОЭМАЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Рассмотрены основные принципы порошковой электростатической технологии POESTA, используемой на эмалировочных предприятиях Украины, требования к порошкам и защитным стеклоэмалевым покрытиям. Проанализированы современные проблемы и особенности получения по технологии POESTA безпигментных безгрунтовых стеклоэмалевых покрытий и проблемы их окрашивания, обоснован выбор соединения молибдена в качестве глушащего агента, установлена зависимость влияния концентрации MoO_3 на технико-эксплуатационные и декоративные характеристики покрытия.

Ключевые слова: безгрунтовое стеклоэмалевое покрытие, фритта, порошковое электростатическое нанесение, глушащий агент, ионный механизм, химическая стойкость.

Введение. Стремление предприятий эмалировочной отрасли к повышению уровня энерго- и ресурсосбережения обусловила актуальность разработки составов безгрунтовых стеклопокрытий для защиты деталей бытовой техники, в частности бытовых газовых и электрических плит, которые должны одновременно обеспечивать свойства традиционных грунтовых и покровных покрытий, а также сохранять свои декоративные и эстетические характеристики. С целью расширения цветовой гаммы безгрунтовых стеклоэмалевых покрытий проводятся различные поисковые исследования, одним из направлений которых является синтез составов, содержащих соединения молибдена, способствующих глушению темноокрашенных стеклоэмалей за счет образования микрокристаллических фаз молибдатов. Выбор в качестве глушащих агентов соединений молибдена обусловлен возможностью образования более мелких кристаллических фаз молибдатов (менее 1 мкм) щелочноземельных металлов, в частности CaMoO_4 и BaMoO_4 , по сравнению с традиционно используемым в составах стеклоэмалей глушителем TiO_2 , образующим кристаллические фазы рутила или анатаза с размерами кристаллов от 1 до 8 мкм [1].

© О.П. Одинцова, О.В. Шалыгина, Л.А. Гаврилина. 2014

В данной работе рассмотрены особенности получения безгрунто-вых стеклоэмалей с содержанием в качестве глушащего агента оксида молибдена и влияния его концентрации на цветовые характеристики и эксплуатационные свойства покрытия. При производстве бытовых газо-вых и электрических плит, предприятия-производители учитывают пред-почтения потребителя. Поэтому наиболее распространенными и востребо-ванными цветами защитных покрытий являются белый, серый, коричневый и черный [2]. По типичной схеме производства такие покрытия получают путем последовательного нанесения и обжига грунтового и покровного стеклоэмалевых слоев. Однако, для получения безгрунтовых стеклоэмале-вых покрытий вышеуказанных цветов, предприятия используют тонкодис-персные порошки импортного производства, которые содержат пигменты.

На сегодняшний день самой современной технологией получения стеклоэмалевых покрытий является технология POESTA (Powder Electrostatic Application), которая предусматривает нанесение покрытий в электростатическом поле в виде тонкодисперсных порошков. Широкое применение технологии POESTA обусловлено высоким уровнем ее пока-зателей энергоресурсосбережения: практическая безотходность материа-ла покрытия (рекуперация порошка), возможность максимального упро-щения процесса подготовки поверхности металла перед эмалированием, высокая экологичность процесса (отсутствие пылевых выбросов, сточ-ных вод и химических загрязнений) и др. Технология POESTA позволяет получать стеклоэмалевые покрытия на деталях бытовой техники с необ-ходимыми технико-эксплуатационными свойствами и эстетико-декоративными характеристиками [3]. Сложность использования окра-шивающих пигментов при изготовлении тонкодисперсных стеклоэмале-вых порошков для этой технологии ограничивает возможность окраши-вания защитных покрытий. Это связано с образованием дефектов в по-крытиях, таких как включения, точечные окрашивания, пузыри и поры, неравномерность цвета и др. Появление дефектов обусловлено разными значениями удельного электросопротивления порошка и пигмента, вы-горанием пигментов при обжиге покрытия, газообразованием при окис-лении компонентов пигментов, приводящее к уколам на покрытии. В эмалировочной отрасли пигментами принято считать компоненты, вво-

димые на стадии приготовления материала покрытий – шликера или порошка. Поэтому, целью данной работы является разработка состава молибденсодержащих стеклоэмалей для получения по порошковой электростатической технологии на деталях бытовой техники безгрунтовых безпигментных защитно-декоративных покрытий серой цветовой гаммы.

Методика исследований. В связи с поставленной целью было выбрано следующее направление исследований: выбор состава стеклофритты – основы безпигментных безгрунтовых стеклоэмалевых покрытий с повышенными значениями собственного удельного электросопротивления; синтез молибденсодержащих безгрунтовых окрашенных стеклоэмалевых покрытий; анализ цветовых характеристик; исследование технико-эксплуатационных свойств; оценка качества готовых покрытий.

Материалы и результаты исследований. Разработка составов молибденсодержащих стеклоэмалевых фритт для получения по порошковой электростатической технологии POESTA безгрунтовых окрашенных покрытий проводилась в соответствии с установленными критериями синтеза, которые регламентируют физико-химические, технологические и эксплуатационные свойства: 1) собственное удельное электросопротивление порошка стеклоэмалевой фритты – $\rho \geq 10^8$ Ом·м; 2) температура обжига покрытия в пределах 820 – 830 °С; 3) химическая стойкость стеклоэмалевого покрытия – класс А в соответствии ГОСТ 29020-91 (ISO 2742-83) [4]; 4) прочность сцепления покрытия с металлической основой – 1–2 балла по EN 10209 an. D [5]; 5) цветовые характеристики покрытий – серая гамма (RAL 7026 – 7033).

Выбор состава стеклофритты – основы безпигментных безгрунтовых стеклоэмалевых покрытий. Ранее нами были разработана серия составов безгрунтовых безпигментных темноокрашенных стеклоэмалевых покрытий с маркировкой ESB (enamel silicate brown, enamel silicate black), отвечающих всем необходимым технологическим и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к фриттам, порошкам и покрытиям для деталей бытовой техники. Цветовые характеристики этих покрытий находятся в черно-коричневой гамме и соответствуют диапазону RAL 8016 – 8023 [6]. Поэтому в качестве основы целесообразно выбрать стеклофритту ESB 9 черного цвета (RAL 8022) со следующими характе-

ристиками: химическая стойкость покрытия – класс АА, прочность сцепления – 1 балл, температура обжига покрытия – 820–830 °С.

Синтез экспериментальных молибденсодержащих составов стеклофритт. Основная идея разработки безпигментных безгрунтовых стеклоэмалей серой цветовой гаммы заключалась в модифицировании стеклофритты-основы черного цвета глушащими агентами, в частности MoO_3 . Принимая в качестве основы фритту ESB 9 была синтезирована серия экспериментальных составов ESG (enamel silicate grey) для получения по технологии POESTA безгрунтовых окрашенных стеклоэмалевых покрытий серой цветовой гаммы – таблица 1.

Таблица 1. Составы экспериментальных фритт

Компонент	Химический состав стеклофритт, мол. %				
	ESB 9	ESG 1	ESG 2	ESG 3	ESG 4
SiO_2	51,3	52,5	51,5	50,5	49,0
B_2O_3	15,0	15,0			
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	15,5	14,0			
$\text{CaO} + \text{BaO}$	4,0	4,0			
$\text{MnO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	6,0	4,5			
$\text{CuO} + \text{CoO}$	3,7	4,0			
CaF_2	4,5	4,5			
MoO_3	0	1,5	2,5	3,5	5,0

Для получения заданных составов стеклоэмалевых фритт были использованы следующие сырьевые материалы: песок кварцевый, бура пятиводная, сода кальцинированная, поташ, мел, барий углекислый, флюорит, а также оксиды MnO_2 , Fe_2O_3 , CuO , CoO и MoO_3 . Варку экспериментальных составов проводили в шамотных тиглях в лабораторной электрической печи с карбид-кремниевыми нагревателями. Максимальная температура варки составила 1280 °С, продолжительность варки от 50 до 60 минут с изотермической выдержкой 15 минут при максимальной температуре и последующей грануляцией расплава в воду.

Анализ цветовых характеристик. Учитывая особенности технологии POESTA, для окрашивания покрытий в составы не вводились пигменты. В качестве основы для синтеза составов безгрунтовых стеклоэмалей серой цветовой гаммы была использована стеклофритта ESB 9. Черный цвет покрытия ESB 9 был получен благодаря введению на стадии

варки стеклоэмали разработанного ионного окрашивающего комплекса (ИОК), состоящий из оксидов металлов переменной валентности: MnO_2 , Fe_2O_3 , CuO , CoO . Необходимо отметить, что в случае разрабатываемых составов безгрунтовых покрытий, ИОК является одновременно и комплексным активатором сцепления (КАС), который обеспечивает цвет и необходимую прочность сцепления покрытия со сталью в интервале температур обжига 820–830 °С. Следуя сформулированной идее исследований, в состав фритты-основы был введен глушащий агент MoO_3 с целью глушения черного покрытия микрокристаллической фазой молибдатов кальция и бария [7]. Варьирование содержания MoO_3 от 1,5 до 5 моль. % в экспериментальных составах, определило получение покрытий серой цветовой гаммы, соответствующих значениям RAL 7026, 7031 и 7033 – таблица 2.

Таблица 2. Влияние концентрации MoO_3 на цвет безгрунтовых покрытий серии EBG

Марка стеклофритты	Содержание MoO_3 , моль. %	Цвет	RAL
ESB 9	0	черный	8022
EBG 1	1,5	серый	7026
EBG 2	2,5	серо-голубой	7031
EBG 3	3,5	серо-голубой	7031
EBG 4	5,0	серо-зеленый	7033

Таблица 3. Классы химической стойкости экспериментальных покрытий

Марка стеклофритты	Содержание MoO_3 , мол. %	Класс химической стойкости покрытий ISO 2722 (ГОСТ 29021)
EBG 1	1,5	AA
EBG 2	2,5	A
EBG 3	3,5	B
EBG 4	5,0	C

Химическая стойкость. Определение химической стойкости (кислотоустойкости) экспериментальных стеклоэмалевых окрашенных покрытий проводили по экспресс-методу «проба пятном» в соответствии с ГОСТ 29020-91 (ISO 2742-83) [4]. На покрытие наносили 10% раствор лимонной кислоты и выдерживали в течение 15 мин. После этого, их промывали под холодной проточной водой и классифицировали (табл. 3: AA – не найдено изменений поверхности; A – слабое потускнение; B – заметное потускнение; C – потускнение; D – грубая матовость) полученные повреждения поверхности эмалированных образцов по ГОСТ 29021-91 [8].

Выводы. На основе стеклофритты-основы в работе получена серия экспериментальных составов молибденсодержащих безпигментных фритт EBG для получения по технологии POESTA защитно-декоративных покрытий серой цветовой гаммы.

Определено влияние концентрации вводимого глушащего агента MoO_3 на цветовые и эксплуатационные характеристики безгрунтовых безпигментных стеклоэмалевых покрытий для бытовой техники.

Установлены оптимальные концентрации MoO_3 для получения химически стойких покрытий серого цвета, составляющие 1,5–2,5 мол. %. Увеличение концентрации MoO_3 приводит к резкому снижению химической стойкости покрытий, что является недопустимым для данного вида продукции.

Список литературы: 1. Блистанов А. А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. Учебное пособие для вузов. – М.: МИСИС, 2000. – 432 с. 2. Шалыгина О.В. Проблемы получения покровных светлоокрашенных эмалей для технологии POESTA / О.В. Шалыгина, А.П. Одинцова // V Всеукраїнська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих вчених «Хімічні проблеми сьогодення», 14-17 березня 2011 р., Донецьк, тези доповідей. – С. 254. 3. Петцольд А. Эмаль и эмалирование: Справ.изд. / А. Петцольд, Г. Пешманн – М.: Metallurgiya, 1990. – 516 с. 4. ГОСТ 29020-91 (ИСО 2742-83) Эмали стекловидные и фарфоровые. Определение стойкости к кипящей лимонной кислоте. 5. EN 10209 an. D Cold rolled low carbon steel flat products for vitreous enameling. Technical delivery conditions. 6. О.В. Шалыгина Однофриттные безникелевые стеклоэмалевые покрытия, получаемые по технологии «POESTA» / О.В. Шалыгина, Л.Л. Брагина, Г.И. Миронова, А.П. Одинцова // Стекло и керамика. 2014. – № 6. – С. 38-42. 7. Павлушкин Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкин – М.: Стройиздат, 1983. – 432с. 8. ГОСТ 29021-91 (ISO 2722-73) Эмали стекловидные и фарфоровые. Определение стойкости к лимонной кислоте при комнатной температуре.

Bibliography (transliterated): 1. Blistanov A. A. *Krystallyi kvantovoy i nelineynoy optiki. Uchebnoe posobie dlya vuzov.* – Moscow: MISIS, 2000. – 432 p. 2. Shalyigina O.V. *Problemyi polucheniya pokrovnyih svetlookrashennyih emaley dlya tehnologii POESTA*. O.V. Shalyigina, A.P. Odintsova. V *Vseukrainska naukova konferentsiya studentiv, aspirantiv i molodih vchenih «Himichni problemi sгодennya»*, 14-17 bereznya 2011, Donetsk, tezi dopovidey. – P. 254. 3. Pettsold A. *Emal i emalirovanie: Sprav.izd.*. A. Pettsold, G. Peshmann – Moscow.: Metallurgiya, 1990. – 516 p. 4. GOST 29020-91 (ISO 2742-83) Emali steklovidnyie i farforovyie. Opreделение stoykosti k kipyaschey limonnoy kislote. 5. EN 10209 an. D Cold rolled low carbon steel flat products for vitreous enameling. Technical delivery conditions. 6. O.V. Shalyigina. *Odnofrittnyye beznikelevyye stekloemallevyye pokryitiya, poluchaemyie po tehnologii "POESTA"*. O.V. Shalyigina, L.L. Bragina, G.I. Mironova, A.P. Odintsova. *Steklo i keramika*. 2014. – No. 6. – P. 38-42. 7. Pavlushkin N.M. *Himicheskaya tehnologiya stekla i sitallov*, N.M. Pavlushkin – Moscow : Stroyizdat, 1983. – 432 p. 8. GOST 29021-91 (ISO 2722-73) Emali steklovidnyie i farforovyie. Opredelenie stoykosti k limonnoy kislote pri komnatnoy temperature.

Поступила (received) 05.11.2014

О.В. ШАЛЫГИНА, канд. тех. наук, НТУ «ХПИ»

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОЭМАЛЕЙ

В статье дана характеристика технологическому процессу производства эмалированных изделий, который включает производство стеклоэмалевых фритт, порошков, шликеров, смесей RTU и RTM, изготовление металлических заготовок и подготовку их поверхности перед эмалированием, нанесение, сушку и обжиг покрытий, показана их существенная ресурсо- и энергоемкость. Приведен анализ энерго- и ресурсопотребления в эмалировочной отрасли. Показано, что для достижения максимального эффекта ресурсоэнергосбережения актуальным является проведение модернизаций всех стадий производственного процесса эмалирования. Описаны основные приоритетные направления развития эмалировочной отрасли Украины с учетом опыта европейских предприятий и действующих отечественных и европейских стандартов.

Ключевые слова: эмалирование, стеклоэмали, энергоресурсосбережение, энергопотребление, экологическая эффективность, фритта, порошковая электростатическая технология POESTA.

Введение. Эмалирование как отрасль имеет многолетнюю историю производства, которая неразрывно связана с мировым техническим прогрессом, развитием науки и усовершенствованием технологий. Однако в настоящее время остается целый комплекс проблем и задач, требующих эффективного решения. К приоритетным направлениям развития эмалировочных предприятий, как в Украине, так и в мире, относятся создание и внедрение энерго-, ресурсосберегающих и экологически эффективных технологий. Технологический процесс производства эмалированных изделий достаточно сложный и многостадийный и характеризуются существенной ресурсо- и энергоемкостью – таблица 1. [1, 2, 3]. Он включает производство стеклоэмалевых фритт, порошков, шликеров, смесей RTU (Ready to Use) и RTM (Ready to Mill), изготовление металлических заготовок и подготовку их поверхности перед эмалированием, нанесение, сушку и обжиг покрытий. В современных экономических условиях для достижения максимального эффекта ресурсоэнергосбережения актуальным является проведение модернизаций всех стадий производственного процесса эмалирования, начиная с операции составления шихты, плавки стеклоэмалей и заканчивая обжигом покрытий. В связи с этим модерни

© О.В. Шалыгина. 2014

зация производства стеклоэмалей и его автоматизация являются на сегодняшний день необходимым этапом развития эмалировочной промышленности в Украине. Кроме того, необходимо отметить, что производство стеклоэмалей и эмалированной продукции, как правило, рентабельно, быстро окупаемо и, следовательно, экономически выгодно, т.к. эта продукция не имеет срока годности.

Материалы и результаты исследований. Рассматривая процессы производства стеклоэмалей – фритт, порошков и смесей RTU и RTM, можно выделить следующие основные направления энерго- и ресурсосбережения: полная автоматизация процесса приготовления шихты с учетом взаимозаменяемости сырьевых материалов; использование в эмалеплавильных печах в качестве топлива смеси природный газ – кислород вместо традиционной смеси газ – воздух [4]; футеровка эмалеплавильных печей высокоплотными материалами, в частности муллитовыми и муллито-коррундовыми огнеупорами [5]; применение в печах высокоэффективных набивных футеровок; обжиг в малоинерционных печах, футерованных волокнистыми теплоизоляционными материалами с низкой теплопроводностью [6]; упрощение процесса подготовки поверхности металлических заготовок перед нанесением эмалевых покрытий; внедрение безотходных технологий нанесения покрытий [7]; применение энергоэкономных режимов обжига покрытий – однослойное эмалирование (1 C/1 F) или двухслойное с однократным обжигом (2 C/1 F) [8].

Процессы оптимизации производства стеклоэмалей происходят в той сфере, которая связана с множеством других областей, таких как энергетика, использование тепла отходящих газов (рекуперация тепла), экология (очистка воздуха и отходящих газов) и экономика производства (снижение производственных затрат), что позволяет более комплексно использовать все меры для улучшения технологических процессов. Растущую комплексность в эмалировочной отрасли можно преодолеть путем широкого применения измерительной техники и автоматического регулирования. Учитывая то, что в производстве стеклоэмалевой шихты представлены все основные процессы приготовления многокомпонентных смесей, начиная от приема сырьевых материалов, их транспортирования, обработки, хранения и, заканчивая дозированием, смешиванием,

транспортированием смеси, стеклоэмалевую шихту целесообразно рассматривать как базовую смесь для получения качественных конкурентоспособных изделий и синтеза новых видов стеклоэмалевых и композиционных покрытий. Следовательно, именно постоянство состава и рецептурная точность приготовления шихты в значительной мере определяет качество эмалированных изделий.

Автоматизация технологических процессов охватывает практически все сферы производства стеклоэмалей. Несмотря на то, что большое количество эмалеплавильных печей управляются посредством автоматизированных систем, огромное влияние на качество и стоимость стеклоэмалей оказывает выбор применяемой топливной смеси.

Для плавки стеклоэмалевых фритт и глазурей промышленные предприятия применяют печи периодического ПД и непрерывного действия НД, работающие на смеси природного газа и воздуха или природного газа и кислорода. Выбор типа печи зависит от многих факторов, основными из которых являются планируемая производительность и ассортимент производимых составов фритт. Тип теплоносителя определяется его экологическими и экономическими преимуществами.

По данным крупнейшего эмалировочного предприятия Украины ОАО «Новомосковская посуда» – производителя стеклоэмалевых фритт и эмалированной посуды – при использовании в качестве теплоносителя смеси природного газа и воздуха для плавки 1 т стеклоэмалевой фритты необходимо $600 - 650 \text{ м}^3$ природного газа; для грануляции расплава – $1,5 \text{ м}^3$ воды; для обжига в электрической конвейерной печи стеклоэмалевых покрытий – $3500 - 4000 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ электроэнергии на 1 т изделий [9].

Данные предприятия «ЕМО FRITE» (Словения) – одного из ведущих европейских производителей стеклоэмалевых фритт, порошков, смесей RTU и RTM – свидетельствуют о значительном преимуществе применения кислородного сжигания топлива по сравнению со смесью природного газа и воздуха – рис. 1 [10]. Расход топливной смеси в ротационной эмалеплавильной печи периодического действия продуктивностью 450 – 500 кг фритты за 1 плавку составляет: природный газ + воздух → $60 - 70 \text{ м}^3/\text{час}$ газа + $7000 \text{ м}^3/\text{час}$ воздуха; природный газ + кислород → $20 - 30 \text{ м}^3/\text{час}$ газа + $40 \text{ м}^3/\text{час}$ кислорода. В пересчете на плавку

1 т фритты расход топливной смеси составляет: природного газа 115–230 м³ и кислорода 200–400 м³ – табл. 1.

Таблица 1. Энергоресурсопотребление в эмалировочной отрасли

Технологический процесс		Удельный расход на 1 т продукции			
		Природ. газ, м ³	Электро- энергия, кВт	Вода, м ³	Кисло- род, м ³
1	Подготовка сырья: сушка песка	3,05	–	–	–
2	Плавка фритт				
2.1	- теплоноситель газ + воздух	600 – 650	–	1,5	–
2.2	- теплоноситель газ + кислород	115 – 230	–	1,5	200 – 400
3	Производство порошков				
3.1	в вибромельнице НД	–	600 – 800	–	–
3.2	в ротационной мельнице ПД	–	150 – 200	–	–
4	Производство шликеров	–	35 – 40	0,4-0,6	–
5	Производство RTU	–	35 – 40	–	–

Предприятие «MEFRIT» (Чешская Республика) также применяет кислородно-топливную технологию, как в ваннных печах непрерывного действия, так и в ротационных периодического действия.

Потребление топливной смеси на производство 1 т фритты на этом предприятии составляет: 150–200 м³ природного газа и 330–400 м³ кислорода [11] (рис. 1)

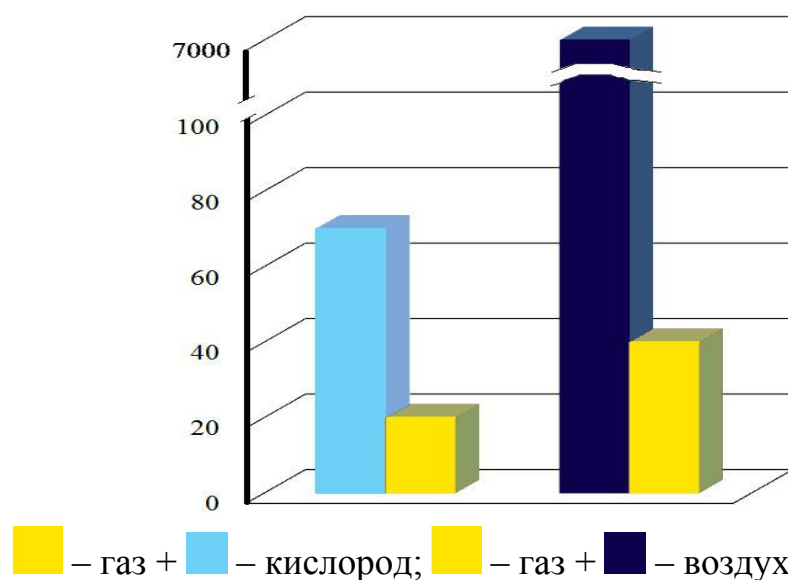
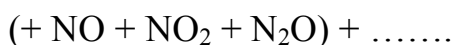
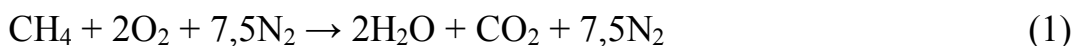


Рис. 1. Сравнительный расход топливных смесей на плавку эмалевых фритт

Затраты на энергоносители для плавления стеклоэмалей вносят весомый вклад в себестоимость эмалированной продукции вне зависи-

мости от применяемой технологии эмалирования.

Кислородно-топливное сжигание. Главным преимуществом сжигания природного газа с кислородом является исключение азота из данного процесса и значительное снижение объемов продуктов сгорания. Эти положения ярко иллюстрируются реакциями сгорания природного газа с воздухом (1) и природного газа и с кислородом (2):



Экологические преимущества этой технологии заключаются в значительном снижении эмиссии не только соединений азота, но и пылевидных частиц. Продукты сгорания на выходе из печи подвергаются специальной очистке и фильтрации в соответствии с эмиссионными нормами [12], максимально допустимые показатели которых при плавке стекол и стекломатериалов (фритт, глазурей, флюсов и др.) приводятся в пункте 3.10.2.2 европейского стандарта BREF2000 [12] – таблица 2 [4].

Таблица 2. Уровень эмиссии продуктов сгорания топлива при производстве фритт

Продукт эмиссии	Концентрация, мг/м ³	Количество выбросов на 1 т расплава
Пылевидные частицы	5 – 30	3 – 16
Оксиды азота NO _x	500 – 700	384 – 431
Оксиды серы SO ₂	200 – 800	123 – 393
Хлориды (HCl)	30	19
Фториды (HF)	5	3,3

Важным фактором процесса кислородно-топливного сгорания является также повышение эффективности перехода тепла в стекломассу, что обусловлено значительным снижением объема продуктов сгорания и, соответственно ограничением потерь тепла из пространства печи. Статистические показатели уровня эмиссии продуктов сгорания топлива при производстве стеклоэмалевых фритт приведены в таблице 3 [4].

На процесс переноса тепла в стекломассу оказывает влияние также тип применяемых горелок, правильный выбор которых определяет излучательную способность, силу света пламени, а, следовательно, потребление топлива и качество готовой продукции – стеклоэмалевой фритты.

Срок службы огнеупоров плавильной печи также в значительной степени зависит от конструкции горелок.

Таблица 3. Статистические показатели уровня эмиссии продуктов сгорания топлива при производстве фритт

Продукт эмиссии	Концентрация, мг/м ³	Количество выбросов на 1 т расплава
Пылевидные частицы	5 – 850	0,1 – 9,0
Оксиды азота (как NO ₂)	290 – 2000	0,4 – 16,0
Оксиды серы (как SO ₂)	<5 – 4000	0,4 – 32,0
Хлориды (HCl)	0,1 – 20	<0,01 – 0,16
Фториды (HF)	0,1 – 200	<0,001 – 0,8
Металлы	<1 – 25	<0,01 – 0,2

Стеклоэмалевая фритта является промежуточным продуктом в сложном технологическом цикле производства эмалированных изделий. Технологии нанесения покрытий определяют состояние стеклоэмалевого материала, наносимого на поверхность металлических изделий – порошок или шликер. Говоря об энерго- и ресурсосбережении необходимо учитывать расходы ресурсов на этих стадиях технологического процесса. Порошковая электростатическая технология нанесения стеклоэмалевых покрытий (POESTA) на сегодняшний день является наиболее современным вариантом по целому комплексу характеристик: практическая безотходность материала покрытия (рекуперация порошка), возможность максимального упрощения процесса подготовки поверхности металла перед эмалированием, высокая экологичность процесса (отсутствие пылевых выбросов, сточных вод и химических загрязнений) и др. Тем не менее, процесс изготовления стеклоэмалевых порошков для технологии POESTA характеризуется определенными энергозатратами.

Расход электроэнергии на производство стеклоэмалевых порошков с гидрофобными кремнийорганическими капсулянтами по традиционной технологии, а именно в вибромельнице непрерывного действия, оснащенной камерой капсулирования порошка, производительностью 150 кг порошка в час составляет 150–200 кВт/час, т.е. на 1 т порошка – 600–800 кВт [10] – таблица 1. С целью интенсификации процесса помола и снижения энергозатрат передовые предприятия – производители стеклоэмалевых фритт и порошков из них, в частности «ЕМО FRITE», разрабатывают новые технологии получения стеклоэмалевых порошков с гид-

рофобными капсулянтами. Так, изготовление тонкодисперсных стеклоэмалевых порошков в ротационных мельницах периодического действия и их гидрофобизация (капсуляция) при температурах, не превышающих температуры естественного нагрева в процессе помола, обеспечивает возможность снижения энергозатрат в среднем на 45 – 50 %.

Важнейшей проблемой на сегодняшний день является также повышение экологической эффективности и безопасности промышленных производств. Это в значительной мере касается и эмалировочной отрасли, на предприятиях которой «горячими» точками до сих пор остаются участки составления шихт, эмалеплавильные цеха, отделения подготовки поверхности металла перед эмалированием и нанесения покрытий. Производители стеклоэмалевых фритт и глазурей, так же, как и предприятия других отраслей, постоянно сталкиваются с ужесточением природоохранного законодательства. Вопросы рационального использования энергии привлекают внимание экологов, особенно в связи с проблемой глобального изменения климата. Выбросы диоксида углерода неразрывно связаны с использованием ископаемых теплоносителей. Поэтому любые меры по сокращению энергопотребления могут дать позитивные результаты в области охраны окружающей среды.

В Евросоюзе регламентирующая роль принадлежит Директиве ЕС о комплексном контроле и предотвращении загрязнения (IPPC Directive 2008/1/EC) и Налогу на выбросы CO₂ и потребление энергии [12]. В соответствии с этими документами предприятия должны внедрять методы предотвращения и сокращения загрязнения окружающей среды, в том числе и связанные с процессами энергопотребления. В настоящее время, после вступления в силу Киотского протокола, эмалировочные производства, относящиеся к наиболее энергоемким отраслям, стоят перед необходимостью изыскания дополнительных мер снижения энергопотребления и сокращения выбросов парниковых газов. Кроме того современные отечественные и европейские экологические и санитарно-гигиенические нормы жестко контролируют степень, регламентируют ограничивают содержание в составах фритт оксидов тяжелых металлов Ni, Zn, Sr, Cd, Pb и др. [13,14, 15].

Выводы. С учетом опыта европейских предприятий и действующих стандартов европейской ассоциации, можно определить основные приоритетные направления развития эмалировочной отрасли Украины.

Перспективы развития эмалировочных предприятий неразрывно связаны с новыми инновационными требованиями, которые касаются практически всех стадий технологического процесса эмалирования: автоматизация и механизация производственных процессов; внедрение ресурсоэнергосберегающих технологий нанесения; минимизация отходов материалов (стеклоэмалевых порошков, шликеров, металла и химикатов для подготовки его поверхности и др.); разработка стеклоэмалевых фритт, не содержащих оксиды тяжелых металлов и др. ограниченных к применению компонентов; снижение стоимости стеклоэмалей по сырьевым материалам, унифицирование их составов и переход на энергосберегающие режимы обжига; повышение экологичности процессов: снижение выбросов фторидов за счет применения современных методов очистки отходящих газов, переход на бескислотную подготовку поверхности металлов перед эмалированием, использование автоматизированных систем нанесения покрытий с замкнутым циклом материала и др.

Список литературы: 1. *Петцольд А.* Эмаль и эмалирование: Справ.изд. / *А. Петцольд, Г. Пешманн* – М.: Металлургия, 1990. – 516 с. 2. *Анненков В.З.* Об особенностях работы и модернизации производства эмалировочных предприятий Украины в современных экономических условиях / *В.З. Анненков* // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», №4. – С. 17 – 22. 3. *Pavlas Josef.* Materials for the enameled coating preparation and its production / *Josef Pavlas, Juri Masita* // Collection of lectures «Enamels and enamelling technology», MEFRIT, 2008. – P. 5 – 15. 4. *Viduna Jan* Oxy-fuel melting –environmental benefits, latest burner technology for frit producers, field results / *Jan Viduna, Piotr Skawinski* // Collection of lectures «Enamels and enamelling technology», MEFRIT, 2008. – P. 52 – 57. 5. *Коледа И.В.* Использование периклазоуглеродистых изделий в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей / Огнеупорное производство / На предприятиях и в институтах / *И. В. Коледа* // Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 15/10/2004. – № 10. – с. 67-68. 6. *Киселева Т.С.* Повышение эффективности работы печей на примере печей сушки и обжига эмали / *Т.С. Киселева, М.Н. Киселев, Ю.И. Котлицкая* // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», № 6. – С. 43 – 48. 7. *Quadri I.* Powder Electrostatic Charge / *I. Quadri, Jane Li* // Proc. Of 21th Intern. Enameller Congr.; Shanghai, 2008. – P. 171 – 180. 8. *Шалигіна О.В.* Грунтові фрити для електростатичного емалювання побутової техніки з маловуглецевих сталей: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.11 «Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів» / *О.В. Шалигіна*. – Харків, 2006. – 179 с. 9. *Самойленко И.И.* Достижения и перспективы производства стеклоэмалей на предприятии ООО «Новомосковская посуда» / *И.И. Самойленко* // Информа-

мац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», № 7. – С. 13 – 15. **10.** Павлин Томаш Производство эмалей и фритт / Томаш Павлин, Боян Споленак // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», №6. – С. 49 – 51. **11.** Павлас Йозеф Сырье для получения эмалей и их производство / Йозеф Павлас. Йиржи Машиита // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», № 4. – С. 82 – 91. **12.** <http://www.ec.europa.eu/environment/ippc/index.htm> **13.** European Directives REACH 1907/2006 (an. v.11): [Electronic resource]. – European agency for safety and health the work: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety> **14.** <http://www.iris.eionet.europa.eu/> **15.** Bragina L. Powder electrostatic enameling of household appliances [Electronic resource] / L. Bragina, O. Shalygina, N. Kuryakin, V. Annenkov, N. Guzenko, K. Kupriyanenko, V. Hudyakov, A. Landik // Book of abstracts of the 5 th Baltic Conference on Silicate Materials. – Riga: RTU Publishing House. – 2011. – P. 1 – 12.

Bibliography (transliterated): **1.** Pettsold A. *Emal i emalirovanie*: Sprav.izd. . A. Pettsold, G. Peshmann – Moscow.: Metallurgiya, 1990. – 516 p. **2.** Annenkov V.Z. Ob osobennostyah raboty i modernizatsii proizvodstva emalirovochnykh predpriyatii Ukrainyi v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh. V.Z. Annenkov . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 4. – P. 17–22. **3.** Pavlas Josef. Materials for the enameled coating preparation and its production . Josef Pavlas, Juri Masita. Collection of lectures "Enamels and enamelling technology", MEFRIT, 2008. – P. 5–15. **4.** Viduna Jan. Oxy-fuel melting –environmental benefits, latest burner technology for frit producers, field results. Jan Viduna, Piotr Skawinski . Collection of lectures "Enamels and enamelling technology", MEFRIT, 2008. – P. 52–57. **5.** Koleda I.V.. I. V. Koleda . Chernaya metallurgiya: Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii. – 15.10.2004 . – No. 10. – P. 67-68. Print **6.** Kiseleva T.S. Povyishenie effektivnosti raboty pechey na primere pechey sushki i obzhiga emali. T.S. Kiseleva, M.N. Kiselev, Yu.I. Kotlitskaya . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 6. – P. 43–48. **7.** Quadri I. Powder Electrostatic Charge. I. Quadri, Jane Li . Proc. Of 21 th Intern. Enameller Congr.; Shanghai, 2008. – P. 171–180. **8.** ShaligIna O.V. Gruntovi friti dlya elektrostatchnogo emalyuvannya pobutovoi tehniky z malovugletsevih staley: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. Stupenya kand. tehn. nauk : spets. 05.17.11 "Tehnologiya tugoplavkikh nemetalichnih materialiv". O.V. ShaligIna. – Kharkov, 2006. – 179 p. **9.** Samoylenko I.I. Dostizheniya i perspektivy proizvodstva stekloemaley na predpriyatii OOO "Novomoskovskaya posuda" / I.I. Samoylenko . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 7. – P. 13 – 15. **10.** Pavlin Tomash. Proizvodstvo emaley i fritt. Tomash Pavlin, Boyan Spolenak . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 6. – P. 49–51. **11.** Pavlas Yozef. Syire dlya polucheniya emaley i ih proizvodstvo Yoz. Pavlas. Yirzhi Mashita. Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 4. – P. 82–91. **12.** <http://www.ec.europa.eu/environment/ippc/index.htm> **13.** European Directives REACH 1907/2006 (an. v.11): [Electronic resource]. – European agency for safety and health the work: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety> **14.** <http://www.iris.eionet.europa.eu/> **15.** Bragina L. Powder electrostatic enameling of household appliances [Electronic resource] . L. Bragina, O. Shalygina, N. Kuryakin, V. Annenkov, N. Guzenko, K. Kupriyanenko, V. Hudyakov, A. Landik . Book of abstracts of the 5 th Baltic Conference on Silicate Materials. – Riga: RTU Publishing House. 2011. – P. 1–12.

Поступила (received) 06.11.14

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

1. **НЕТРЕБА А.А., ГЛАДКИЙ Ф.Ф., САДОВНИЧИЙ Г.В., ШКАЛЯР Т.Г.** Использование электромагнитного поля в процессе вымораживания подсолнечного масла 3
2. **ПЕТИК П.Ф., ФЕДЯКІНА З.П.** Науково-технологічні основи використання вторинних сировинних ресурсів олієжирової промисловості 15
3. **БУХКАЛО С.І., ОЛЬХОВСЬКА О.І., СЕРІКОВ А.В., ЗПУННІКОВ М.М., ІГЛІН С.П., ГАРДЕР С.Є.** та ін. Енергетичний тиждень ЄС 2014 В НТУ «ХП» 25
4. **МИХАЙЛОВ В.М., БАБКІНА І.В., МИХАЙЛОВА С.В., ШЕВЧЕНКО А.О.** Визначення якості харчової продукції на основі рослинної сировини за умов її обробки в НВЧ-полі з вакуумуванням 36
5. **БУХКАЛО С.І.** Екологічна безпека як складова концепції утилізації відходів для комплексних підприємств енергетичного міксу 42

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

6. **БЛОУС О.В., ДЕМИДОВ І.М., БУХКАЛО С.І.** Дослідження явища синергізму між токоферолами соняшникової олії та інгібіторами окиснення екстракту із листя горіху волоського 57
7. **МИХАЙЛОВ В.М., КИПТЕЛАЯ Л.В., САЕНКО С.Ю., ЗАГОРУЛЬКО А.Н.** Компьютерное моделирование распределения теплового потока в ИК-сушилке 65
8. **КОЗУЛЯ Т.В., БЛОВА М.О.** Розробка комплексної методики ідентифікації екологічної відповідності за станом системних об'єктів 70
9. **ЄМЕЛЬЯНОВА Д.І.** Аналіз методичного забезпечення комплексної оцінки стану природно-техногенних комплексів 79

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

10. **ВЕДЬ В.Є., МИРОНОВ А.М.** Сучасні проблеми вуглевипалювання і піролізу деревини 88
11. **УЛЬЄВ Л.М., ХІМІЧ О.І., КАНИЩЕВ М.В.** Екстракція даних для пінч-аналізу процесу атмосферної перегонки з блоком ЕЛЗУ на АВТ-А12/6 Саратовського НПЗ 96

12. УЛЬЄВ Л.М., КЕРЖАКОВА М.О. Екстракція даних для теплоенергетичної інтеграції процесу стабілізації нафти на нафтовому промислі	108
13. УЛЬЄВ Л.М., ЯЦЕНКО О.О., ІЛЬЧЕНКО М.В. Енергозберігаючий потенціал процесів виділення бензол-толуол-ксилольної фракції та гідродеалкілата в процесі виробництва бензолу	116
14. ХАВИН Г.Л., КАСЬЯН Е.С. Определение величины дефектов при сверлении слоистых композитов	125

ІННОВАЦІЙНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ОЦІНКИ ВИРОБНИЦТВА СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

15. САВВОВА О.В. Оцінка рівня резорбції та біологічної дії кальційсилікофосфатних склокристалічних матеріалів <i>in vitro</i>	133
16. БАБІЧ Е.В. Перспективні напрямки синтезу біоактивних склокристалічних матеріалів для кісткового ендопротезування	140
17. ВОРОНОВ Г.К. Особенности получения стеклокристаллических материалов с низким ТКЛР в системе PbO-ZrO ₂ -R ₂ O ₃ -SiO ₂	145
18. ШАДРІНА Г.М. Сучасні рішення при створенні біоактивних склокристалічних покриттів по титану медичного призначення	150
19. ОДИНЦОВА О.П., ШАЛЫГИНА О.В., ГАВРИЛИНА Л.А. Молибденсодержащие безгрунтовые стеклоэмалевые покрытия	157
20. ШАЛЫГИНА О.В. Некоторые вопросы энергосбережения и экологии производства стеклоэмалей	163
РЕФЕРАТИ	174
РЕФЕРАТЫ	180
ABSTRACTS	187

ABSTRACTS

UDC 665.36

Use of electromagnetic field in the process of sunflower oil freeze / A.A. Netreba, F.F. Glagkiy, G.V. Sadovnichiy, T.G. Shkalyar // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 3–14. Bibliog.: 10 titles. – ISSN 2220-4784.

The possibility of using electromagnetic processing for extracting wax and wax-like substances from sunflower oil. The electrical characteristics of the suspension of wax substances in sunflower oil, namely the dielectric constant and conductivity, as well as their behavior under electromagnetic methods impact on the system «oil - related substances». Effects of electromagnetic fields on the behavior of related substances in the process of freezing was evaluated by the change in the electrophysical characteristics of the suspension of wax and wax-like substances in sunflower oil, indicating the delivery charges associated substances. This property underlies improvement process step filtering the slurry using a fibrous filter material of polysulfone having a stable electrical charge because particle capture occurs in Depth Filter through electrostatic interaction. Shows the intensification of technological processes of crystallization of wax compounds and filtering the slurry under the influence of the electromagnetic field.

Keywords: sunflower oil, wax-like substances, the dielectric constant, conductivity, the polarization of the electromagnetic field, fibrous filter materials based on polysulfone.

UDC 665.11

The scientific and technological basis of using recyclable materials oil industry / P.F. Petik, Z.P. Fediakina // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 15–24. Bibliog.: 23 titles. – ISSN 2220-4784.

In this article the analysis of scientific literature on the use of secondary resources and waste oil industry: sunflower meal, hydration precipitation, soap stock, spent bleaching clay and filter powders, as well as deodorizing straps arising from the extraction and refining of sunflower oil. A feature of the publication is that it uses the results of scientific research carried out by graduate students of the department of technology of fats and products of fermentation of the NTU «KPI» in the development of innovative technologies for utilization of fat-containing waste oil obtaining and fat processing.

Keywords: processing fat-containing waste, meal, phospholipid emulsion, soap stock, bleaching clay, filter powder, shoulder straps deodorization.

UDC 378.65.011.56

EU Energy Week 2014 in NTU «KPI» / S.I. Bukhhalo, O.I. Olkhovskaya, A.V. Serikov, A.V. Serikov, N.N. Zipunnikov, S.P. Iglin, S.E. Garder, A.I. Klimashko, A.A. Borhovich, S.K. Lizunov, E.G. Shekhovtsov, V.A. Poznokos, D.V. Kolobrodova, M.S. Gakhova // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 25–35. Bibliog.: 13 titles. – ISSN 2220-4784.

The results of complex innovative projects continuation, that are running according to inter-universities collaboration are presented in the paper. The features of basic projects – participants of EC Week are discussed to implement modern innovative model of education. Its practical realization is very important and it is possible only for high level of training staff professionalism and is directed to create the conditions for effective reproduction of scientific and educational personnel, strengthening the youth in the science, education and high technologies, saving the sustainability of generations. The most effective ways are energy- and resource saving, environmental safety, social, economic and legislative relations in the society.

Key words: complex innovative projects, EC Energy Week, resource- and energy saving, social-economical and social-legislative relations.

UDC 641.447:664.5

Definition of quality of food products of plant material by treatment of microwave field with vacuuming / V.M. Mikhailov, I.V. Babkina, S.V. Mikhailova, S.A. Shevchenko // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 36–41. Bibliog.: 5 titles. – ISSN 2220-4784.

In the article presents the results of research of indicators extracting, swelling and chemical composition of food products from the roots and green spicy vegetables produced during processing in a microwave field in a vacuum and simultaneous mixing, as well as atmospheric conditions. Was proved the most higher quality of powdered roots and green spicy vegetables obtained with microwave drying, vacuuming of 50 kPa and simultaneous mixing. Investigations shown, that extract determined that the maximum share of water-soluble solids exceeds on 23...26%. Swelling ratio exceeds on 6,5...9,4%. Research has shown the chemical composition of a high degree of conservation of the physicochemical properties of the feedstock by reducing the duration and temperature reduction process.

Key words: quality, food products, microwave field, vacuuming, mixing, chemical composition, extracting, swelling.

UDC 678:519.713

Ecological safety as a component of the concept of waste management for complex enterprise energy mix / S.I. Bukhhalo // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 42–56. Bibliog.: 25 titles. – ISSN 2220-4784.

The research of environmental safety and solving the problems of chemical technological problems of scientifically grounded integrated processes of different originated polymer wastes and their life cycle are discussed. The possibilities of these problems solution were shown with use of processes simulation with taking into account the changes of physical-chemical, molecular, chemical and mechanical characteristics of polymer materials during exploitation. The goal is the selection of the environmentally safe energy- and resource saving methods of polymer production of new nomenclature from secondary polymer raw materials and development of effective equipment for processes. At the same time, the ways of non-conversable polymer wastes utilization are indicated.

Key words: environmental safety, utilization, polymer wastes, life cycle, identification, estimation criteria, scientifically grounded processes.

UDC 664.3

Investigation of synergism between sunflower oil tocopherols and oxidation inhibitors of extract from the walnut leaves / O.V. Bilous, I.M. Demidov, S.I. Bukhhalo // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 56–64. Bibliog.: 9 titles. – ISSN 2220-4784.

The article examines the impact on the stability of oxidation inhibitors to oxidate sunflower oil. The article describes the characteristics of the processes occurring in fats when exposed to oxygen and explains the need for the storage of fats in the unoxidized state. It also analyzes the current level of oxidation inhibitors usage in the industry and provides comparative analysis of synthetic and plant oxidation inhibitors. The results of studies of the interaction between sunflower oil to-

copherols and oxidation inhibitors extracted from the leaves of walnut is given. The article describes a method of installation and functioning of the device for cleaning sunflower oil from tocopherols. The results of the full factorial experiment, in which the variation factors are: the concentrate of tocopherols, the concentrate of the walnut leaves extract, the concentrate of citric acid is provided as well. The output parameter of given full factorial experiment is induction period. The obtained data were analyzed and based on it were given recommendations for concentration of the oxidation inhibitor from walnut leaves extract injected into sunflower oil.

Keywords: tocopherol, oxidation inhibitors, sunflower oil, the induction period.

UDC 644.8:658.562.5

Computer simulation of heat flux distribution in the IR-dryer / V.M. Mikhailov, L.V. Kiptela, S.Yu. Saenko, A.N. Zagorul'ko // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 65–69. Bibliog.: 4 titles. – ISSN 2220-4784.

One of the main directions of processing the fruit and berry raw products (FBRP), which allows to preserve the maximum value of food and biological of the products is to use drying technology. Studies have shown that the use of IR-radiation in FBRP drying technology allows to preserve the BAS (biologically active substances) in the product. Based on the results of studies a vertical IR-dryer was designed, providing the following advantages: decreases the duration of the drying process by forced convection; improves the quality of the final product by mild heating and low temperature; provides uniform thermal field at the receiving surface and between the trays due to the cylindrical shape of the IR-dryers; reduces dimensions and ease of construction due to rectangular carbon infrared heater in the vertical IR-dryer; intensifies the drying process due to the possibility of controlling the amount of fresh air incoming into the working chamber and the use of waste heat in the process of IR-drying.

Keywords: modeling, distribution, design, IR drying.

UDC 519.713: 504.064

Integrated method of identification for environmental system objects compliance development / T.V. Kozulia, M.O. Bilova // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 70–78. Bibliog.: 5 titles. – ISSN 2220-4784.

The main aspects of the need to improve methods to ensure assessment of complex objects, based on the theory of comparator identification are provided in the article. The approach to a comprehensive methodology for the identification of significant factors violations of environmental compliance, identify the level of environmental natural and man-made systems and evaluation of environmental quality at various levels of research facilities are proposed. The application of the method of principal components as a first step of analysis of the general state of the controlled system, algorithmic support its implementation in conjunction with the comparator method of identification is presented in the paper. The results of practical implementation of the improved method in addressing the ecological state of the regions of Ukraine are obtained and analyzed. Perspective of further studies involving a larger number of data analyses and separation of the following areas (environmental, economic, social) with the identification of tangible environmental hazards requiring managerial control are identified.

Keywords: socio-ecological-economic system, comparing identification, environmental quality, risk assessment, principal component analysis.

UDC 519.713: 504.064

Analysis of complex ecological estimation of natural and manmade complexes / D.I. Emelianova // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 79–87. Bibliog.: 8 titles. – ISSN 2220-4784.

The article provides an algorithmic support which determines the ecological level of systems of natural environment and processes in it. The given algorithmic support allows identifying nega-

tive factors disturbing the homeostasis of man-made complexes, and provides complex ecological quality assessment of man-made objects. Using the proposed algorithm of the quality assessment of a complicated system-systematic formation based on MIPS-numbers, risk-characteristic as to the conditions of objects and processes connected with ecological state disturbance, we have received a complex assessment of the studied territory. The investigation involving the complex ecological assessment methodology on the level of system objects allows taking into account the transformation processes of ecological safety destabilization when determining the situation safety level based on the results of monitoring the balance violation factors, which gives the grounds for creating a complex mechanism for quality management of anthropogenic territories.

Keywords: complex quality assessment, risk analysis, MIPS-analysis, resource efficiency, environmental management.

UDC 674.8

Modern problems of charcoal burning and pyrolysis of wood / V.E. Ved, A.N. Mironov // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 88–95. Bibliog.: 5 titles. – ISSN 2220-4784.

A historical overview of the development of technologies of charcoal burning is presented. The preconditions for the transition between stages of technologies for the production of charcoal are considered. Gradual replacement of the timeworn ways of charcoal burning to more relevant methods of pyrolysis of wood and wood waste is demonstrated. Examples of the use of charcoal in the modern human's lives are given. A wide application of it in various spheres of national economy is displayed. Shortcomings of artisanal production methods of charcoal are delineated. The problems faced by fabricators of wood pyrolysis' products are designated. The necessity of creating more advanced technologies for the production of charcoal, which would ensure the maximum energy efficiency of production is determined.

Keywords: wood, coal, charring, pyrolysis, drying.

UDC 658.28:665.63:338.44

Extraction data for the pinch analysis process atmospheric distillation unit ELZU on AVT-A12/6 Saratov refinery / L.M. Ulyev, O.I. Khimich, M.V. Kanischev // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 96–107. Bibliog.: 7 titles. – ISSN 2220-4784.

The article examined the installation of oil processing at the facility AVT-A12/6 Saratov refinery by flows that will be used during the heat integration process. As a result of the survey the atmospheric distillation of crude oil by the established rules were extracted stream data systematized and tabulated. On the basis of certain flows was constructed grid chart. The preparatory phase is completed successfully. During the extraction of data was obtained the necessary information, which will be further used for the application of pinch technology in the atmospheric distillation unit with CDU on ABT-A12/6 Saratov refinery. The preparatory phase is completed successfully. During data extraction was obtained the necessary information, which will be used for the application of pinch technology for the installation of an atmospheric distillation unit ELZU on AVT-A12/6 Saratov refinery. Further, on the basis of the data will be proposed modernization of existing production which reduces investment in reconstruction.

Keywords: heat transfer, heat recovery, heat exchanger, oil, pinch.

UDC 658.28

Data extraction process integration for thermal power stabilization of oil in the oil industrial / L.M. Ulev, M.A. Kerzhakova // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 108–115. Bibliog.: 18 titles. – ISSN 2220-4784.

The article is devoted to the stabilization of oil installations oil fields. Light fractions of petroleum (hydrocarbon gases from ethane to pentane) is a valuable raw material from which get products such as alcohols, synthetic rubber, solvents, liquid motor fuels, fertilizers, artificial fibers

and other products of organic synthesis, widely used in industry. So should strive not only to reduce the loss of light fractions of the oil, but also to the preservation of hydrocarbons extracted from oil-bearing horizon for further processing. The article is a brief description of the process of stabilization of oil. The technological flows and are their main characteristics. A table streaming and built lattice diagram the existing process.

Keywords: stabilization of oil, grid diagram, table production, utilities, heat recovery.

UDC 547.53

Energy saving potential for processes of benzene-toluene-xylene fraction and hydrodealkylation in the production of benzene / Ulyev L.M, Yatsenko, O.A., Ilchenko M.V. // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 116–124. Bibliog.: 10 titles. – ISSN 2220-4784.

The relevance of the topic due to the fact that rising energy prices encourages more efficient use of energy, as the level of energy consumption has a significant impact on the cost of finished products. The shortcomings of the existing heat exchange systems which lead to an increase in energy consumption was identified in this paper. The possibility of improving the heat integration processes for benzene-toluene-xylene fraction and hydrodealkylation in the production of benzene was considered. The composite curves for existing process were built. The minimum temperature difference and the values of hot and cold utilities were defined for existing process with the help of composite curves. Heat power recuperation at the existing flowsheet was analyzed. The grid diagram of the existing flowsheet was built for this. The optimal value of the minimum temperature difference for heat exchanges equipment was defined. As a result of implementation of the retrofit project the consumption of hot and cold utility can be reduced by 10% and 30%, respectively.

Keywords: benzene, pinch analysis, grid diagram, composite curves, utility

UDC 621.91

Determination of the defects when drilling multilayer composites/ G. L. Khavin, E. S. Kasian // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 125–132. Bibliog.: 9 titles. – ISSN 2220-4784.

The problem of determining the crack length of the delamination when drilling composite laminates drill with central and peripheral cutting edge – «candle stick drill. The solution is based on the use of a ratio Hocheng H. and Tsao C.C. For determine the integrated thrust forces used the known from the literature empirical relation. It is assumed that a given fixed value of the depth of the crack. On the basis of the dependence, the ratio of the diameter of the drill to length crack delamination and ratio of the force acting on the periphery of the drill to the value of its central part. The total value of the trust force is determined by the diameter of the drill and the amount of feeding. Using the obtained analytical relation, we calculated the distribution of crack length of delamination during drilling of CFRP for varying depth of its occurrence and the ratio of peripheral to trust forces.

Keywords: crack delamination, crack depth location, multilayer composites.

UDC 666.266.6

Assessment of resorption level and biological action of calcium silicophosphate glass-ceramic materials in vitro / O.V. Savvova // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 133–139. Bibliog.: 9 titles. – ISSN 2220-4784.

Solubility of calcium silicophosphate glass-ceramic materials in bodily fluids has been investigated. It has been established that test materials have low levels of destruction and can be used as medical items. Results of assessment of biological action have shown that the trend of mass augmentation for these materials in simulated body fluid is increased

during 30-90 days; curve of augmentation is governed by parabolic law with intensification of the process during 90-180 days. Possibility of formation of apatite-like layer on the surface of resorbing glass-ceramic materials in vitro has been established. Perspectivity of the use of experimental materials as a base for obtaining bioactive materials for maxillofacial surgery and orthopedics for filling bone defects has been confirmed.

Keywords: bioactive glass-ceramic materials, calcium phosphates, hydroxyapatite, resorption, bone implants

UDC 666.266.6

Perspective directions of synthesis of bioactive glass-ceramic materials for bone implants / O.V. Babich // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 140–144. Bibliog.: 9 titles. – ISSN 2220-4784.

Synthesis trends of glass-ceramic materials for bone implants are analyzed in the article. Perspectivity of creation of bioactive glass-ceramic materials with adjustable levels of resorption and mechanical properties on the base of calcium silicophosphate glasses, which meet the requirements to bone implants, has been determined. Under the conditions of State-owned Experimental Prosthetic Orthopedical Enterprise and Certified Laboratory of RETC “Southern Railroad”, experimental-industrial and experimental-laboratory tests of the synthesized glass-ceramic material ZF-1 have been successfully carried out. Positive results of clinical and biological tests under conditions of public institution “Institute of Pathology of Spine and Joints named after M.I. Sitenko” of AMSU prove viability of the use of obtained glass-ceramic materials as bone implants.

Keywords: bioactive glass-ceramic materials, calcium phosphate, hydroxyapatite, resorption, bone implants.

UDC 666.26

Glasses in system RO-RO₂-R₃O₃-SiO₂ for brazing of electronic details / G.K. Voronov // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 145–149. Bibliog.: 5 titles. – ISSN 2220-4784.

The article considers the possibility of creating a frit with a low coefficient of linear expansion and fusing temperature for soldering components of microelectronics with high silicon content. The areas of glass formation in the system PbO-B₂O₃-Al₂O₃-ZrO₂-SiO₂ and the distribution of values of the coefficient of linear expansion of the glass. Synthesized glass samples and determined their ability to crystallize. Samples frit and explore their technological properties. Conclusions about the practical application of the synthesized frit.

Keywords: glas frit, glass forming system, crystalline phase, coefficient of expansion, soldering temperature.

UDC 666.293

Modern solutions for creation of bioactive glass-ceramic coatings on titanium for medical applications / G.M. Shadrina // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 150–156. Bibliog.: 7 titles. – ISSN 2220-4784.

Main problems of creation and long-term use of bioactive components of hip joint and lower jaw bone implants are given in the article. Methods of improving biocompatibility and mechanical characteristics of existing materials for this application are reviewed. It has been established that the modern solution of the problem of implant instability is creation of calcium silicophosphate glass-ceramic coatings that have a structure crystallized in volume. Technological scheme for obtaining bioactive glass-ceramic coatings on titanium alloys is proposed. Main characteristics of performance, mechanical and chemical properties have been investigated. The possibility of use of these materials on the loaded bone areas is substantiated.

Keywords: calcium phosphate coatings, biocompatibility, titanium alloys, slip technology.

UDC 666.293

Mo-containing direct vitreous enamels / A.P. Odintsova, O. V. Shalygina, L.A. Gavrilina
// Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 157–162. Bibliog.:8 titles. – ISSN 2220-4784..

The basic principles of electrostatic powder technology POESTA, used on enamel enterprises of Ukraine, the requirements for powder and protective coatings vitreous. Analyzed current problems and peculiarities of obtaining Mo-containing nonpigment direct colored vitreous enamels produced by technology POESTA, the dependence of the effect of the concentration of MoO₃ on technical and operational characteristics and decorative coatings, as well as the results of research on the development and application of direct nonpigment colored vitreous coating for protection of steel parts of household appliances.

Keywords: glass-enamel, frit, muting agent, ionic mechanism, chemical resistance.

UDC 666.21

Energy efficiency and the environment in the production glass enamel / O.V. Shalygina
// Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovation researches in students' scientific work. – Khrarkov: NTU «KhPI», 2014. – № 49 (1091). – pp. 163–171. Bibliog.: 15 titles. – ISSN 2220-4784..

The article provides a description of the technological process of production of enameled products, which includes the manufacture of vitreous frit, powders, slurries, mixtures RTU and RTM, manufacturing of metal workpieces and surfaces before preparing their enameling coating, drying and firing of coatings shows their significant resource and energy consumption. The analysis of energy and resource in the enamelling industry. It is shown that for maximum effect the economy of resources relevant is the modernization of all stages of the production process of enameling. The basic development priorities of Ukraine enamelling grow back on the experience of European enterprises and existing national and European standards.

Keywords: enamel, glass enamel, energy and resource saving, energy consumption, environmental effectiveness, frit, powder electrostatic technology POESTA.